الهيئة القومية للبحث العلمي

علم النبات



تأليف:
كارل ل. ويلسون
وولتر ا. لوميس
تايلوراى. ستيفز

ترجمة:
د. محمد احمد ابوريقة
د. حازم صادق الالوسي
د. محمد حميد ابراهيم البكري

الجماهيرية العظمى 1989م.

الهيئة القومية للبحث العلمي

علم النبات

تأليف :

كارل ل. ويلسون
وولتر ا. لوميس
تايلوراى. ستيفز

ترجمة :

د. محمد احمد ابوريه
د. حازم صادق الالوسي
د. محمد يحيى ابراهيم البكري

الجماهيرية العظمى 1989م.

الطبعة الاولى 1989

رقم الايداع 386 / 1989
دار الكتب الوطنية ـ بنغازى

الهيئة القومية للبحث العلمى
ص . ب 8004 ـ طرابلس

محسن يوسف الدويشي

المحتويات

تقديم الترجمة العربية

انطلاقا من إيمانها بالأهمية الحيوية لنقل وتوطين العلوم ، وإدراكا للدور المنوط بها في هذا المجال ، يسر الهيئة القومية للبحث العلمي أن تقدم الترجمة العربية لكتاب (النبات) الذي يعد من أهم الكتب الصادرة في علم النبات العام لمؤلفيه : ويلسون ولوميس ستيفز . وقد حرصت الهيئة على دعم ترجمة هذا الكتاب ، وقدمت كافة التسهيلات المتاحة لإنجاز الترجمة نظرا لما يتميز به من تنوع الموضوعات وشموليتها ، وسلاسة الاسلوب وترابط الافكار ، والرسومات التوضيحية التي تفي أغراضا تعليمية وتثقيفية متعددة ..

وهو يقدم في فصوله الثمانية والعشرين مسحاً عاماً لكافة جوانب حياة النبات بدءاً ببنية الخلية النباتية الى البكتريا مرورا بعمليات البناء الضوئي والدورات الطبيعية وهرمونات النمو ، والتكيف والتمايز والوراثة والفطريات والطحالب الخ .. وعلاقة كل ذلك بالإنسان وشئون حياته ..

وبهذا تأمل الهيئة القومية للبحث العلمي أن تكون قد أسهمت في توفير مادة علمية شاملة وباللغة العربية لطلاب علوم النبات في جامعات الجماهيرية العظمى وكافة مؤسساتها العلمية ..

د . الطاهر الهادى الجهيمى
مدير عام الهيئة القومية للبحث العلمى

مقدمة الطبعة الخامسة

بالرغم من ان حجم هذه الطبعة اوسع من سابقتها فإنها لاتختلف عنها اساسا من حيث التنظيم والاهداف . فعلى غرار الطبعة الرابعة تركز الطبعة الحالية على تنوع النباتات وعلاقتها بالانسان . وقد حاولنا اعداد هذا الكتاب ليشمل احدث التطورات فى بيولوجيا الخلية ، الى جانب المعلومات المألوفة حول بنية النباتات الوعائية وغير الوعائية ، ووظائفها ، ونموها ، وتكاثرها ، وتطورها وطرق حياتها .

اى اننا حاولنا اعداد نص متوازن يحتوى على معلومات تفيد المحاضرين ، ايا كانت طبيعة المادة الاساسية التى يدرسونها سواء المتعلقة بالتعليم العام او تلك التى تعتبر جزءا من تأهيل المدرسين او غيرهم من المهنيين ، وقد وضعت محتويات الكتاب لتناسب مادة من فصلين دراسيين ، الا انه يمكن تكييفها، كما فى الطبعات السابقة ، بنجاح لمواد اقصر .

وقد اولينا اهتماما دقيقا لكل جزء من الكتاب للرفع من قيمته التدريسية ، فقد اعيدت كتابة بعض الاجزاء لمزيد من الايضاح ، وتم التوسع فى عدد آخر منها ، واضيفت مواضيع جديدة . اما الاشكال فقد اختيرت بعناية حيث استبدل عدد منها واضيف مايقرب من 40 شكلا جديدا . كما تشتمل هذه الطبعة على جزءين يضمان صورا ذات اربعة الوان .

وحيث انه من المستحيل استعراض كل التعديلات التى ادخلت على هذه الطبعة ، فاننا سنكتفى بامثلة عليها . فالفصل الثالث حول الخلية يشتمل فى هذه الطبعة على وصف لاصل وتطور الصفيحة الوسطى ، مع معلومات اضافية حول العضيات ، وفى الفصل الرابع نقحت المعلومات المتعلقة بالنقل الفعال ، واضيفت معلومات تتعلق بمعالجة الـ DNA فى البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا ، اما فى الفصل الخامس فقد اختصرنا وبسطنا مناقشة تفاعلات الضوء والظلام فى البناء الضوئى .

وفى الفصل التاسع اعدنا كتابة معظم مايتعلق بوصف آلية امتصاص الجذور للمعادن، وفى الفصل العاشر نقحت المعلومات الخاصة بدورات الماء والكربون فى حين عرضت مناقشة دورة النيتروجين بتوسع ، وقد اعيدت كتابة معظم الفصل الرابع عشر (الذى كان سابقا الفصل الحادى عشر) بكيفية تتيح معالجة افضل لهرمونات النمو والمفاهيم الحديثة لتكون الشكل morphogenesis . وفى الفصل السابع عشر نقح ووسع الجزء الخاص بالتطور والتكيف ، اما الفصل التاسع عشر فيحتوى فى هذه الطبعة على جزء خاص بالاغناء، وقد نقح كامل الفصل الخامس والعشرين حول اقدم نباتات الارض، واضيف اليه دراسة اصل الحياة .

اما المعلومات الخاصة بالبكتريا والفيروسات فى الفصل العشرين فهى اكثر توسعا مما يوجد عادة فى كتب النبات ، والبكتريا ، سواء صنفت كنباتات او بروتيستا (احياء اولية) او غيرها ، فانها من الناحية البيئية ترتبط ارتباطا وثيقا بالنباتات من خلال تأثيرها على التربة والدورات الطبيعية وغيرها من طرق التأثير ، كما ان لها علاقة بالانسان من حيث دورها كعوامل مرضية فى الانسان وحيواناته المستأنسة ونباتاته المزروعة .

وبالمثل فأن للفيروسات اهمية اقتصادية للانسان ، وفضلا عن ذلك فان علم الوراثة الجزيئى ، الذى يشمل دراسة الوراثة فى البكتريا والفيروسات، يعتبر اليوم اساسيا للاستيعاب الكامل للوراثة فى الكائنات العضوية العليا ، لذا فقد توسعنا فى هذا الفصل ليشمل انواع آليات اعادة الترتيب فى البكتريا (التزاوج، والنقل، والتحول) ودور ملتهم البكتريا فى علم الوراثة، وتحلل البكتريا .

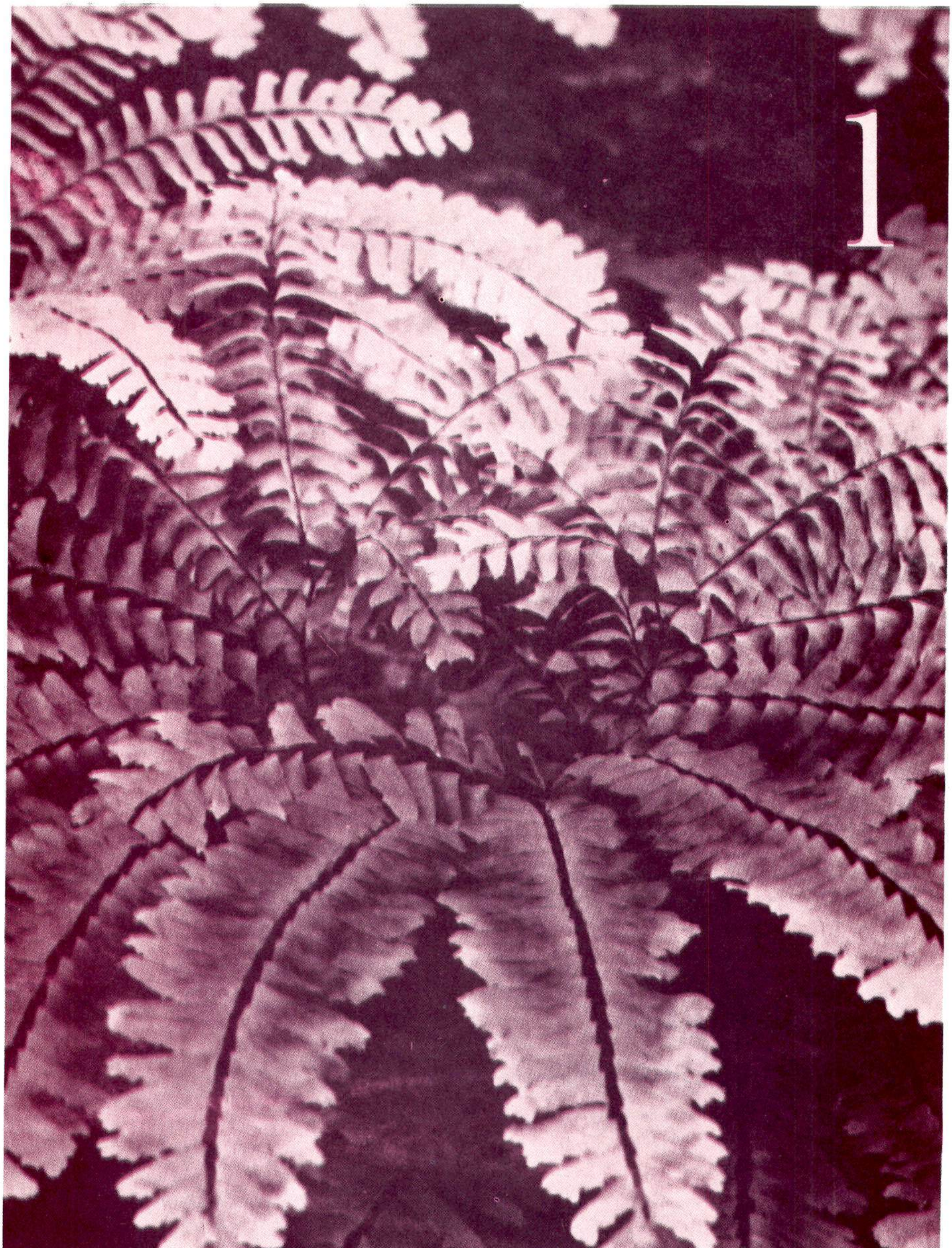
ونود فى خاتمة هذه المقدمة الاعراب عن عميق امتناننا لكل من ساعدنا فى اعداد هذا الكتاب سواء اولئك الذين راجعوا اجزاء منه او الذين قدموا لنا اشكالا اخرى من العون مثل ابداء ملاحظاتهم حول تنظيم فصول الكتاب ووضوحه وسلاسة اسلوبه . وأخيرا نخص بالشكر المحرر الذى اشرف على مخطوطة الكتاب واعدها للطبع ، ونثمن صبره ونقدر مهارته وخبرته فى هذا المجال ، ونحن بالطبع نتحمل مسئولية اية اخطاء قد تكون موجودة فى النص .

النبات والانسان

Plants and Man

النبات والانسان

Plants and Man


1

النبات والانسان
Plants and Man

تـوصف الكـرة الارضيـة التى نعيش عليهـا بـانهـا ارض خضراء .وسبب خضرتها يكمن فى وجود ما عليها من نباتات ، تكتسب اهميـة فائقـة لحياة البشريـة ورفاهيتهـا . فالانسـان وغيره من عالم الحيوان وكذلـك عالم النبـات نفسه ، لا يمكنـه العيش فـوق هذا الكـوكب بـدون المـادة الخضراء التى تكسب النبات لونه ، وبدون نشاطات اوراق النبـات التى تحوى هـذه الصبغة الخضراء .

يتكـون بساط الارض السنـدسى ، فى الاساس من نبـاتـات ذات اوراق وسيقان وأزهار . غير أن هناك ايضا انواعـا اخرى من النبات تفتقر الى وجود الاوراق والسيقان والازهار ، ويكون الكثير منها صغير الحجم ، بل مجهـريا احيـانا . يكـون بعض هذه النباتات اخضر اللون ، بينما تفتقر انـواع اخرى الى هـذا اللـون . ربما تـوجد هـذه النباتـات فى التربـة ، او فى مجارى الارض المائية ومصادرها . وهنا يجب التنويـه بان الكثـير من النباتات دقيقة الحجم هذه ، والتى تخلو من الاوراق ، تكتسب اهمية قصوى بالنسبة لـلانسان ورفـاهه ، بـل انها تعتبـر من اساسيات بقائه .

تعتبـر كل هـذه النباتـات كائنـات حية ، اذ تمتص الطـاقة وتستهلكها ، كما تنمو وتتكاثر ، وتتأثـر بمحيطها وتؤثـر فيه وتختلف اجسـام هذه النبـاتـات اختـلافـا جسيمـا من حيث الحجم ، والشكـل والهيئة كمـا تعيش فى بيئـات عـديـدة . ان دراسة النباتات ، وكل أوجه تركيبها وسلوكها هى علم النبات . تستهـدف هذه الـدراسة تعميق مفـاهيم الانسان حـول حياة النباتات الموجودة فى بيئته المحيطة ، كما تؤدى بناء على ذلك الى زيادة مستوى أعجابه ببيئته المحيطة ودرجة انتفاعه بها .

النباتات تغذى العالم Plants Feed the World

من بين جميع المهام التى يقوم بها النبات ، سنقتصر فى هذا الفصل على الاشارة الى عملية تصنيع الغذاء ، ونـرجى الشرح التفصيلى لهذه العملية الى الفصل الخامس ، ففى هذه العملية التى يطلق عليهـا البنـاء الضـوئى Photosynthesis ، يبنى النبات المواد السكرية من مادتين اوليتين شائعتـين فى الطبيعة هما ثانى اكسيد الكربون والماء . وتتم هذه العملية فى الخـلايا الخضراء وبوجود ضوء الشمس هذا مع العلم بان الانسـان لم

يتمكن من القيام بهذه العملية بطرق اصطناعية . تستغل النباتات الخضراء المواد السكرية المتكونة اثناء البناء الضوئى ، فى بناء المواد النشوية والزيوت والبروتينات وغيرها من المواد المعقدة ، وذلك عبر عمليات لا يجمعها مع البناء الضوئى جامع ، يضيف النبات انسجة جديدة الى انسجته مستخدما فى ذلك المواد المذكورة اعلاه ، كما يستغل النبات هذه المركبات مصدرا للطاقة . وانسجة النبات تعتبر بدورها من المصادر الغذائية لكل اشكال الحياة ـ النباتات غير الخضراء كالبكتريا والفطريات ، وكذلك عالم الحيوان بكامله ، بما فى ذلك الانسان . مع غياب عملية البناء الضوئى ، تنعدم كل الكائنات الحية باستثناء جزء يسير منها وتتوارى الحياة على كوكبنا خلال مدة وجيزة .

فكل الاطعمة والمنتجات النباتية الاخرى التى نستغلها كالمواد السكرية والنشوية والبذور والثمار والاخشاب والزيوت والعقاقير ، والالياف ما هى الا منتجات من نواتج عملية البناء الضوئى . وبالرغم من أن الحيوانات التى تعيش على اللحوم لا تستهلك المنتجات النباتية بطريقة مباشرة ، الا انها تعتمد على النباتات بطريقة غير مباشرة ، حيث انها تفترس الحيوانات التى تعيش على النباتات .

وفى البحار تتم عملية البناء الضوئى التى تعتمد على الخلايا الخضراء ، مثلما تتم على اليابسة وما يعيش فى المحيطات من احياء حيوانية يعتمد بطريقة مباشرة أو غيرمباشرة على الاحياء النباتية المجهرية الحجم او ما يقاربها ، تلك الاحياء القادرة على تحويل المواد غير العضوية الى مركبات عضوية هى قوام الحياة كلها .

النباتات ككائنات حية Plants as Living Things

تنتمى النباتات ، مثلها فى ذلك مثل الحيوانات ، الى العالم الحى ، فهى كائنات حية . ومع ذلك لا يوجد تعريف عام للحياة ، وليس هذا فقط بسبب استبعاد مظاهر معينة لاشياء غير حية من هذا التعريف فحسب ، بل لان الحياة ليست مادة تتجسد ونلمسها بحواسنا وهى ليست عملية من العمليات ، بل انها حالة أو صفة لمجموعة أو نظام من المواد الكيميائية المعينة تم تنسيقها بدرجات عالية ، وتتفاعل مع بعضها البعض كما تتفاعل أيضا مع محيطها . فالحياة خاصية من خواص كل مواد هذه المجموعة مجتمعة وليست لاى جزء منها . وافضل السبل لايضاحها ليس بكلمات تعبر عن ماهيتها ولكن بتعداد ما تنجزه من اعاجيب . ومع ذلك ، ففيما يلى بعض الخصائص التى يستفاد منها فى التمييز بين الكائنات الحية والمواد التى تخلو منها الحياة .

النمو Growth

النمو او القدرة على النمو هو احد خصائص الكائنات الحية . فالبذرة ، مثلا ، كائن حى ، الا انها لا تنمو الا اذا توفر الماء ، والاكسجين ودرجة الحرارة المناسبة . وتعرّف عملية النمو بانها زيادة غير عكسية فى حجم الكائن الحى . ويصحب عملية النمو الحقيقية فى الكائن النامى بناء مواد جديدة حية تضاف الى مواده الاصلية ، وفى الحيوانات كما فى بعض النباتات مثل الفطريات والبكتريا تخلق هذه المواد من مواد عضوية سبق لكائنات حية أخرى بناؤها . أما النباتات الخضراء فانها تستطيع بناء هذه المواد بنفسها .

تحويل الطاقة Energy Transformation

تعمل الانظمة الحية على تجميع وتحويل الطاقة اما بطريقة مباشرة من مصدرها الاصلى وهو الشمس أو بطريقة غير مباشرة من مصادر اخرى تنتمى اليها . وتخزن هذه الطاقة فى المركبات العضوية . واثناء عملية التنفس respiration تتحرر هذه الطاقة الموجودة فى غذاء الكائن الحى . وهذه الطاقة هى التى يستغلها الكائن الحى فى بناء مركباته المعقدة من المواد البسيطة ، كما يستغلها فى عمليات اخرى كثيرة ، منها الاحتفاظ ببقائه ودوام حياته . وغالبا ما يطلق على جميع العمليات الحيوية التى تتم فى جسم الكائن الحى مصطلح التحول الغذائى metabolism . وتقوم بعض هذه العمليات بهدم المواد التى يتكون منها جسم الكائن الحى الى مكونات ابسط منها ، بينما بعضها الآخر يقوم ببنائها . ولا تتم عملية النمو الا اذا تفوقت عمليات البناء على عمليات الهدم .

التكاثر Reproduction

من الخصائص الاخرى التى تصاحب الكائنات الحية قدرتها على تكوين افراد جديدة تشابه الابوين الى حد كبير . ومن المظاهر الهامة لعملية التكاثر ، نجد التباين بين الافراد الناتجة عن هذه العملية . ويطلق على هذا الطراز من التباين الذى يورّث اسم الطفرة mutation ، وهى من الطرز التى لها اهميتها الخاصة ، اذ بدونها قد لا نجد من الكائنات الحية التى تعيش حاليا على سطح الكرة الارضية الا اشكالا قليلة نسبيا .

الاستجابة للحافز Response

تتأثر الكائنات الحية بمحيطها فهى تتفاعل مع البواعث التى تنطلق منها وتستجيب لها . فالكائنات الحية سواء أكانت نباتية أو حيوانية تتأثر وتستجيب لعوامل مثل درجة الحرارة ، وشدة الضوء والجاذبية الارضية وطول النهار ، واللمس والعوامل الكيماوية . وتستجيب معظم الحيوانات لهذه البواعث والدوافع بتحريك جميع الإعضاء فى جسمها ، الا ان بعضها مثل الشعب المرجانية المثبتة أو شقائق النعمان التى تعيش فى البحار تستجيب لهذه البواعث وهى فى موضعها . وكذلك النباتات الراقية التى تتشبث جذورها بموضع من المواضع ، لا تتأثر بالضوء أو اللمس أو التغير فى درجة الحرارة وغيرها من المؤثرات الا بحركة محدودة . ومن أمثلة تلك الحركة ، تفتح الازهار وانغلاقها ، والتفاف المحاليق ، وحركة الاوراق ، وكلها حركات يمكن التقاط صور سريعة لها وعلى فترات زمنية متلاحقة بحيث تظهر هذه الحركات عند عرضها . وغالبا ما يعتبر الانسان العادى ان الحركة هى المظهر الوحيد للحياة ، وأن ـ الاشياء التى لا تتحرك تعتبر من الكائنات غير الحية . الا ان أية شجرة أو نبات من نباتات البيتونيا أو البصل تعتبر كائنات حية ـــــ ، تدب فيها الحياة كما تدب فى أية سمكة من الأسماك الذهبية أو فى أى حيوان كالسنجاب مثلا .

التركيب العضوى Organic Composition

المظهر الاخير من مظاهر جميع الكائنات الحية هو أن بنيتها تتكون من مركبات عضوية . وتحتوى جميع هذه المركبات على عنصر الكربون بوصفه عنصرا له القدرة على تكوين تراكيب لها عدة ذرات من هذا العنصر ترتبط ببعضها اما على هيئة سلسلة طويلة أو على شكل حلقة . ويسهل ارتباط هذا العنصر ايضا بغيره من العناصر ، فهو قادر على الاتحاد بعناصر ايدروجين والاوكسجين والنيتروجين مثلا . ومن أمثلة المركبات العضوية المواد السكرية والنشوية والسيلوزية والبروتينات والدهون وكذلك الكحولات . والصفة "العضوية" لهذه المواد هى كل ما تبقى من الصفات التى سايرت فى فترة من فترات تاريخ علم الكيمياء والاعتقاد السائد حينئذ بان جميع المواد التى تحتوى على عنصر الكربون لا تتكون الا فى الكائنات الحية سواء أكانت نباتية أو حيوانية ، وتتولد معظم هذه المركبات نتيجة لنشاط الكائنات الحية ، الا أنه أمكن الان تحضير عدد كبير منها وتخليقها واشتقاقها صناعيا فى المعامل . لذلك فقد اتسع مجال علم الكيمياء العضوية ليشمل هذه المشتقات .

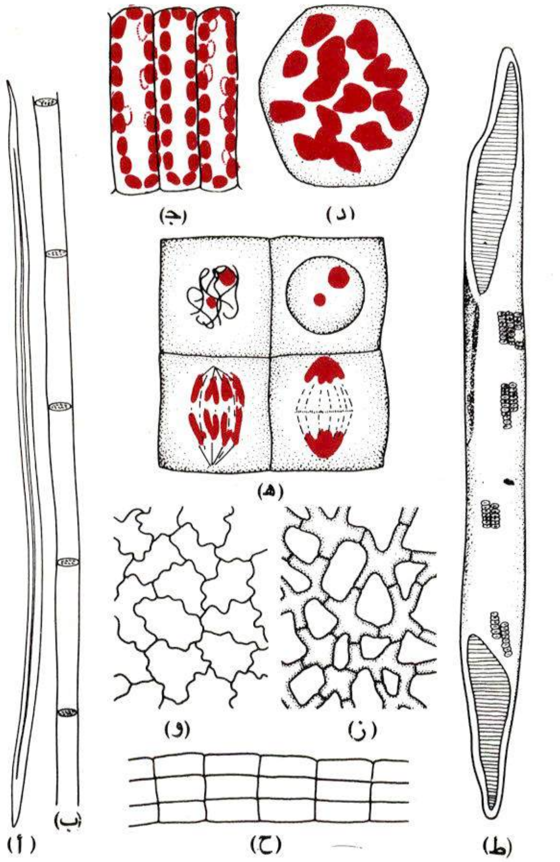
ومن ابسط المركبات العضوية تلك المركبات التى تحتوى على عنصرى الكربون والهيدروجين . ومن أمثلة هذه المركبات الهيدروكربونية زيوت التشحيم والمطاط ، وغاز الميثان أو غاز المستنقعات ، ويعتبر هذان الغازان من المكونات الاساسية للغاز الطبيعى . ولقد وجدت المركبات الهيدروكربونية التى ليست من أصل بيولوجى فى النجوم وفى الشهب ، وكذلك فى الشمس . وقد أمكن التعرف عليها بجهاز يسمى بالمطياف . أما الكائنات الحية فانها تتكون من جزيئات كبيرة ومعقدة وغالبا ما تحتوى على كثير من ذرات الكربون . ويعتبر جزىء البروتين من اكبر الجزيئات العضوية العديدة ، ويحتوى هذا الجزىء على عناصر الكربون والهيدروجين والاوكسجين والنيتروجين واحيانا الكبريت . وتعتمد الآلاف العديدة من التفاعلات التى تتم فى الخلايا الحية على الحوافز البروتينية التى يطلق عليها الانزيمات (الفصل الرابع) .

الخلية وحدة بناء الكائنات الحية The Cell as the Unit of Structure

ان صياغة وتصميم الرأى القائل بان بنية الكائنات الحية ، سواء أكانت نباتية أوحيوانية ، تتركب من وحدات تركيبية

صغيرة يطلق عليها الخلايا cells ، تعتبر هذه الصياغة من أبرز واعظم الانجازات التى تمت فى مجال العلوم البيولوجية فى القرن التاسع عشر . وتحتوى هذه الوحدات على مادة حية معقدة نصف شفافة تسمى البروتوبلازم protoplasm ، التى تحتوى بدورها على كثير من المكونات العضوية وغير العضوية . وللبروتوبلازم القدرة على تخليق مادته بنفسه ، كما يتم بداخله عملية التنفس وغيرها من العمليات الكيماوية المعقدة .

وتتكون بعض الحيوانات والنباتات من خلية واحدة ، الا ان عدد الخلايا فى بنية الاشكال الضخمة من الكائنات الحية قد يبلغ عدة مليارات . والخلايا تتشابه فى جوهرها ، الا انها غالبا ما تختلف فى الشكل والحجم اذا مانمت وتمايزت عن بعضها داخل بنية الكائن الحى وكونت جزءا منه . فبعض هذه الخلايا ذو شكل كروى ، وبعضها يتشكل كقوالب الطوب ، وبعضها غير منتظم الشكل ، وبعضها ذو شكل مغزلى ، وبعضها اسطوانى الشكل . وتختلف الخلايا اختلافا كبيرا فى الادوار التى تقوم بها فى الكائن الحى اذا ما اعتبر هذا الكائن وحدة متكاملة . ومعنى ذلك انه يوجد تقسيم فى العمل بين الخلايا (شكل 1ـ1) . ففى شجرة البلوط oak tree مثلا تقوم بعض الخلايا بتجهيز الغذاء وتصنيفه ، والبعض يقوم بتخزينه والبعض الآخر ينقل الماء أو الغذاء وبعضها يختص بعملية التكاثر ، أو يستغل كدعامة ، او يمنع فقد الماء . الا ان بعض الخلايا لا يختص بوظيفة معينة ويستمر فى الانقسام لانتاج خلايا أخرى .



شكل (1ـ1) بعض انواع خلايا النبات

أ ـ خلية تزود النبات بالدعم والتقوية
a cell providing mechanical strength

ب ـ خلايا توصيل الغذاء — food - conducting cells

جـ ـ خلايا مصنعة للغذاء — food - manufacturing cells

د ـ خلية لتخزين الغذاء تحوى حبيبات النشاء
food - storage cell containing starch grains

هـ ـ خلايا الانقسام — dividing cells

و ـ خلايا البشرة — epidermal cells

ز ـ خلايا من نسيج التهوية — cells from aerating tissue

ح ـ خلايا فلينية — cork cells

ط ـ خلية ناقلة للماء — water conducting cell

حجم الخلايا والنباتات The Size of Cells and Plants

تعتبر اشكال معينة من البكتيريا من اصغر الخلايا النباتية ، فهى كريات مجهرية يبلغ حجمها 0.0005 مم . وكل خلية من هذه الخلايا تكون نباتا قائما بذاته . ومن بين أضخم الخلايا النباتية الياف قلف نبات الرامى ramie ، وهو من نباتات الألياف الهامة التى تنمو فى المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية . ويبلغ طول هذه الخلايا اكثر من 50 سم .

والنسبة بين حجمى اصغر الخلايا واكبرها هى كنسبة 1 : مليون ، الا ان النسبة بين حجمى اصغر النباتات واكبرها تزيد عن ذلك بكثير . فكما ذكر أنفا تعتبر الخلايا البكتيرية الحد الادنى لحجم النباتات أما الحد الاكبر فيوجد فى نباتات تعرف باسم الاخشاب الحمراء redwoods التى يصل ارتفاع بعضها الى ما يقرب من 120 مترا ويعتبر نبات دقيق الماء Wolffia (Water – Meal) من أصغر النباتات الزهرية ، وهو من النباتات المائية الطافية ، ويبلغ طوله حوالى ملليمتر واحد وأشجار السيكويا sequoias العملاقة التى تنمو على شاطىء المحيط الهادىء هى من اضخم واثقل النباتات الحية على الاطلاق . ففى نوع منها يعرف باسم شجرة شيرمان الشائعة general Sherman tree وهو من أشهر الانواع ، يزيد طول هذه الشجرة عن التسعين مترا ، ويقارب محيط ساقها 28 مترا ، وذلك على ارتفاع متر ونصف متر من سطح الارض . وقد قدر وزنها باكثر من ألف طن .

اين وكيف تعيش النباتات Where and How Plants Live

تتحمل الحياة النباتية عادة ظروفا اكثر ضراوة وشدة من الظروف التى تتحملها الحياة الحيوانية وبفضل ذلك توجد النباتات فى أى وسط من الاوساط التى تسمح ببقاء الكائنات الحية . فقد كيفت هذه النباتات نفسها وتهيأت لكى تعيش فى مدى واسع من الرطوبة والجفاف ومن الحرارة والبرودة ففى احدى نهايات هذا المدى توجد بعض النباتات الزهرية التى تعيش فى أجف وأحر قطاعات الصحارى الليبية وغرب استراليا . وتنمو عدة أنواع من الاشن على صخور صحراوية قاحلة نادرا مايرطبها المطر . وفى النهاية الأخرى من هذا المدى تعج المحيطات والبحيرات والانهار بالحياة النباتية وقد أمكن العثور على الأشنات والحزازيات على صخور المحيط المتجمد الجنوبى . بل ان الحياة النباتية تتحمل ظروف الصحارى الجليدية فى المناطق المتجمدة الشمالية التى يكسو الجليد أرضها معظم العام . وتغزو النباتات اوساطا جديدة بسرعة .

ففى المحيط الهادى برزت بفضل البراكين جزر جديدة فوق سطح الماء . وقد ظهرت الحياة النباتية على هذه الجزر بعد عام فقط من بروزها وفى عشر سنوات أو نحو ذلك اكتست هذه الجزر بكساء خضرى وفير .

والنباتات ليست كلها فى حاجة الى تربة أو وسط مائى لكى تحيا وتنمو ، فكثير منها ينمو على غيره من النباتات أو على الحيوانات . فالطحلب المعروف باسم بروتوكوكس Protococcus ، مثلا يوجد على قلف الأشجار Bark of Trees وبعض النباتات الزهرية Flowering Plant مثل الحامول Dodder ، ذى الشكل المتشابك واللون الأصفر البرتقالى ، يعتبر من النباتات المتطفلة Parasites التى تحصل على غذائها من عائلها ، كذلك تعتبر بعض البكتريا من النباتات المتطفلة ، التى تسبب أمراضا خطيرة للنباتات الأخرى أو للحيوانات ، إلا أن كثيرا منها لاتخلو من فائدة . فأمعاء الحيوانات مثلا تعج بالبكتريا التى يستفيد منها العائل بطريقة مباشرة . وتعيش نباتات أخرى على مواد عضوية ميتة أو متعفنة كما تعيش كائنات أخرى فى مجاميع يستفيد كل مكون منها من الآخر سواء أكانت هذه المكونات حيوانية أو نباتية .

ويطلق الاصطلاح المعروف باسم التكافل على أية حالة من الحالات التى يعيش فيها كائنان غير متشابهين معا وبينهما علاقة وثيقة . فاذا استفاد كل مكون منهما من الآخر سميت هذه العلاقة بالعلاقة ذات النفع المتبادل . أما إذا كانت الاستفادة من جانب واحد فقط ، فان هذه العلاقة تسمى بالعلاقة التطفلية . وتوجد كل من العلاقتين التطفلية وذات النفع المتبادل إما بين نبات ونبات آخر ، أو بين نبات وحيوان وحيوان آخر .

ومن الأمثلة الكثيرة للعلاقة ذات النفع المتبادل بين النباتات والحيوانات ، مايوجد بين يرقات نوع معين من الخنافس ينمو على غذاء يفتقر الى فيتامينات من المجموعة ب . ومع ذلك ففى استطاعة هذه اليرقات ان تنمو نظرا لوجود خلايا الخميرة فى قناتها الهضمية . وتقوم هذه الخلايا بتخليق هذه الفيتامينات وتتزود الخميرة بدورها بالطعام الذى يوجد فى وسطها . وأغرب من ذلك العلاقة بين الفطر والنمل قاطع الأوراق الذى يقطن المناطق الاستوائية الأمريكية حيث يعيش هذا النمل فى أعشاش كبيرة يزرع بداخلها الفطر ويمده بطعام على شكل قطع صغيرة من الأشجار المجاورة . فيترعرع الفطر وينمو

التصنيف *Classification*	العلاقات الغذائية وطرق الحصول على الطعام *Nutritonal Relationships and Methods of obtaining Food*	أمثلة *Examples*
1 ـ ذاتية التغذية *Autotrophic*	تستطيع ان تصنع كل ماتحتاجه من طعام بنفسها .	
أ ـ ضوئى (ضوئى التغذية) *Photo (Phototropic)*	تستغل الضوء كمصدر للطاقة لتصنيع غذائها .	اغلب النباتات الخضراء ، كالذرة والبلوط والبطاطس وبعض انواع البكتريا .
ب ـ كيميائى (كيميائى التغذية) *Chemo (Chemotrophic)*	تستخدم الطاقة الكيميائية لتصنيع غذائها	بكتريا النترجة *Nit Rifying Bacteria* ، وبكتريا الكبريت *Sulfur Bacteria* وبكتريا الحديد *Iron Bacteria*
2 ـ غير ذاتية التغذية *Heterotrophic*	غير قادرة على تصنيع غذائها بنفسها بل تحتاج الى مصدر خارجى من المركبات المعقدة . اغلب الحيوانات تنضوى تحت هذا النوع من العلاقات الغذائية .	
أ ـ متطفلة *parasitic*	تحصل على غذائها على شكل مواد ذائبة من انسجة نباتية أو حيوانية حية على حساب المضيف (العائل)	كالحامول *dodder* والهالوك *broom rape* والعديد من البكتريا والفطريات .
ب ـ مترممة *saprophytic*	تحصل على غذائها على شكل مواد ذائبة من بقايا انسجة نباتية او حيوانية غير حية .	كالكرات النافخة *puffballs* وعيش الغراب *mushrooms* والكثير من الأعفان وأغلب أنواع البكتريا .
جـ ـ ملتهمة *phagotrophic*	تزدرد الطعام على شكل مواد صلبة (جسيمات)	كالسوطيات *Flagellates* الشبيهة بالحيوانات ، والاعفان اللزجة *slime mods*
3 ـ التغذية التكافلية *symbiotic* أ ـ متطفلة ب ـ متبادلة المنفعة *mutualistic*	تعيش فى الفة نوعا ما مع غيرها من الكائنات الحية حيث يستفيد كل منهما من الآخر	كالطحالب والفطريات فى الأشن *Lichens* ثم بكتريا العقد فى البقوليات *Legume-nodule bacteria* ، وكذلك الحشرات التى تلقح الأزهار .

بغزارة على هذا الطعام ، ويقتطع النمل من الفطر كسرا يتغذى عليها . ولاشك فى أن زراعة النبات للحصول على الغذاء قد بدأت منذ أحقاب طويلة قبل ظهور الإنسان ، وبهذا يعتبر النمل رائدا للزراع فى هذا العالم .

لقد اوردنا فى الجدول اعلاه ملخصا لمعظم العلاقات الغذائية التى توجد فى المملكة النباتية .

حصر موجز لمجاميع النباتات الرئيسية A Brief Survey of The Major Plant Groups

1 ـ نباتات ليس لها انسجة للدعامة او التوصيل . وجسم النبات (باستثناء أعشاب البحر) صغير وغير ظاهر للعيان فى اغلب الاحيان .

الطحالب ـ ريم البحيرات وحيد الخلية أو عديدها ، ويعيش فى المياه العذبة او المالحة ، كما يوجد فى الاماكن االرطبة ، وهو ذاتى التغذية .
البكتريا ـ نباتات وحيدة الخلية ، عديمة اللون عادة ، وغالبا ماتكون رمية او متطفلة .

الفطريات ـ العفن molds ، عيش الغراب mushrooms ، الفطريات ذوات الاذرع bracket fungi ، النداوى العسلية mildews ، اللفحات blights . معظمها نباتات عديدة الخلايا . وهى رمية أو متطفلة .

الأشنات Lichens ـ نباتات تتكون من طحلب وفطر . وتوجد على جذوع الاشجار والصخور وفى التربة . على شكل قشور او دغل . وتغذيتها من النوع ذى النفع المتبادل والذاتى .

الكبديات والحزازيات Liverworts and Mosses الكبديات : نباتات رقيقة زاحفة او منبطحة ، وهى على شكل شريط يتفلطح على سطح التربة . وتحمل أحيانا اعضاء تناسلية معنقة ، أو تتميز قليلا الى محور يحمل اجزاء مفلطحة تشبه الاوراق ، وهى ذاتية التغذية . والحزازيات : جسمها يتكون من ساق ورقبة قصيرة وقائمة . وهى تتشبث بالتربة ، وتحمل حوصلات معنقة وتوجد السبورات بداخلها . وهى ذاتية التغذية .
2 ـ نباتات لها أنسجة للدعامة او التوصيل . وجسم النبات كبير وظاهر للعيان فى أغلب الأحيان وجميعها ذاتية التغذية على وجه التقريب .

ا ـ نباتات لاتكون بذورا :

السرخسيات ـ أوراقها فى الغالب كبيرة ومقسمة ، وتحمل سبورات فى حوافظ صغيرة على Ferns سطحها السفلى .

الحزازيات الصولجانية Club Mosses نباتات مدادة او زاحفة تحمل أوراقا على شكل حراشيف وتتجمع الحوافظ السبورية الصولجانية غالبا مكونة تراكيب ضئيلة على شكل صولجان او مخروط .

ذيل الحصان ـ Horsetails نباتات ذوات سيقان مجوفة مفصلية واوراق دقيقة . والحوافظ السبورية تراكيب مخروطية الشكل .

ب ـ نباتات تكون بذورا :

المخروطيات Conifers ـ اشجار دائمة الخضرة : كاشجار اللاركس (الارزية) larch ، والتنوب fir والتنوب الفضى spruce والصنوبر pine والشوكران hemlock ، وتنوب دوجلس Douglas والارز cedar (Cedrus) والخشب الاحمر Redwood ، وغيرها . وغالبا ماتحمل بذورا داخل مخاريط .

النباتات الزهرية Flowering Plants ـ وهى النباتات التى تحمل ازهارا : وتوجد البذور داخل الثمار . وتنقسم الى مجموعتين : النباتات ذوات الفلقة الواحدة monocotyledons ، والنباتات ذوات الفلقتين dicotyledons . ففى ذوات الفلقتين يحمل الجنين والبادرة ورقتين بذرتين (الفلقات) . أما فى ذوات الفلقة الواحدة فانه لايحمل الا فلقة واحدة . وتختلف هاتان المجموعتان ايضا فى تركيب الساق والاوراق والازهار . ومن امثلة نباتات ذوات الفلقتين القيقب maple ، والبلوط oak ، والقطن cotton ، والطماطم tomato وقصب السكر sugar cane ، والخشخاش poppy (papaver) والبازلاء pea ، والنجم aster وعباد الشمس sun flower من نباتات ذوات الفلقة الواحدة : الزنابق lily ، والسوسن iris ، والنجيليات grasses والنخيل palms ، والاراكيد orchids ، والبردى (عشبة البرك) cattails ، وقصب السكر sugar cane ، والموز banana (انظر اللوحة رقم 1) .

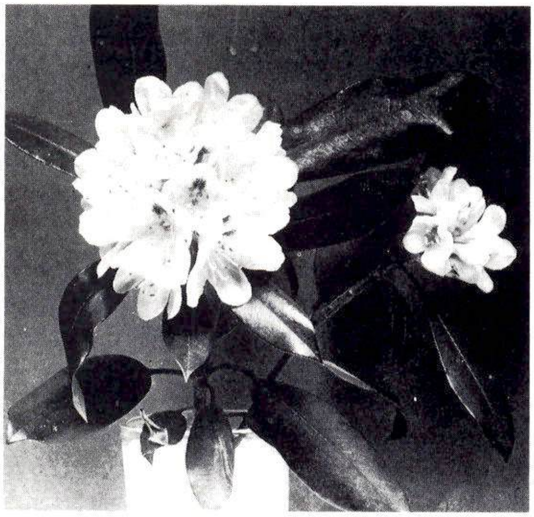
The Plant Kingdom المملكة النباتية

لقد سبق ان عرفنا علم النبات فى بداية هذا الفصل ، وبالرغم من ذلك فانه يصعب كثيرا صياغة تعريف مقنع لكلمة نبات . ومع ان النبات النمطى يتميز بوضوح عن الحيوان النمطى ، الا انه يوجد العديد من الكائنات المجهرية وشبه المجهرية ، تعتبر همزة وصل بين عالمى الحيوان والنبات ، حيث إن لهذه الكائنات من الخصائص ما يوجد فى كلا العالمين . وتؤكد صعوبة وضع تعريف مرض للمملكة النباتية ماعليها من تعقيد . وسنحاول فيما يلى شرح ذلك باختصار .

فأول مايتبادر الى الذهن عند ذكر كلمة «نبات» هو هذا الكائن الاخضر من المملكة النباتية الذى يحمل اوراقا ، كنبات الجيرانيوم garanium النام فى أصيص مثلا ، أو زهرة من ازهار الحديقة . وهما مثلان واضحان وشائعان . واذا ما أمعنا النظر بعد ذلك فى هذه النظرة الشائعة تبادر الى الذهن ايضا ، بجانب الاوراق والازهار (شكل 1 ـ 2) ، الاعضاء النباتية الاخرى مثل الجذور والسيقان والثمار والبذور ، وفضلا عن ذلك فان نظرة شاملة للمملكة النباتية تميط اللثام عما يوجد بها من نباتات لاتحمل كل او بعض هذه الاعضاء ، فالمخروطيات مثلا ، وهى النباتات التى تحمل مخاريط (شكل 1 ـ 3) بها







شكل (1_3) المخروطيات conifers

مخاريط البذور والاوراق Seed cones and leaves

(اليسار) نبات التنوب Fir (Abies balsamea)

(اليمين) ورقة صنوبر طويلة Longleaf Pine (pinus australis)

شكل (1_2) نبات زهرى A Flowering plant

ازهار نبات القار الكبير واوراقه laurel (Rhododendron maximum)

جذور ، وسيقان ، واوراق وبذور ، ولكنها لاتحمل أزهارا . وعلى ذلك فالنبات الذى يحمل ازهارا لايمثل الا جزءا من عدة اجزاء من المملكة النباتية ، وهو مايطلق عليه النباتات الزهرية . اما المجاميع الاخرى مثل الحزازيات (شكل : 1 ـ 4) ، ومجموعة نباتات ذيل الحصان (شكل : 1 ـ 5) ، والسراخس (شكل : 1 ـ 6) فانها تفتقر حتى الى البذور .

وعلاوة على ذلك فهناك نباتات اخرى ، كالطحالب مثل ريم البرك واعشاب البحر (شكل : 1 ـ 7) واشباهها ليس لها جذور ، ولاسيقان ولا اوراق ، وتمثل مجموعة قائمة بذاتها ، كما ذكر آنفا . ومع ذلك ففى استطاعة بنيتها البسيطة ان تقوم بمثل الانشطة الاساسية التى يقوم بها النبات الاكثر تعقيدا فى بنيته . وهناك مجموعة اخرى كبيرة ، يطلق عليها الفطريات (شكل : 1 ـ 8) لاتفتقر فقط الى الجذور والسيقان والاوراق ، بل انها لاتستطيع ان تصنع غذاءها بنفسها . واخيرا توجد مجموعة اخرى ، وهى الكبديات (شكل : 1 ـ 9) والحزازيات (شكل : 1 ـ 10) تختلف عن كل المجاميع الاخرى فى وجوه كثيرة . وعدد الانواع التى تم وصفها يبلغ فى مجموعه حوالى 350 000 نوع نصفه بالتقريب من النباتات الزهرية ، وحوالى الثلث من الطحالب والفطريات ، وماتبقى منه ينتمى الى اصغر المجاميع .

وعليه فان نظرة شاملة للاختلافات الشاسعة بين كائنات المملكة النباتية يعتبر أجدى من محاولة صياغة تعريف لكلمة «نبات» وفضلا عن ذلك ، فان هذه النظرة الشاملة تحمل فى طياتها صورة اكثر وضوحا ودقة من الصورة التى تحملها صياغة أى تعريف. (راجع الجدول السابق).

العلم ومناهجه Science And Its Methods.

تطلق كلمة Botany على علم النبات. وكلمة علم Science تعنى بدورها معرفة الظواهر العالمية بكل ضروبها كما تعنى كيفية تفسير هذه الظواهر بمدلولات وبيانات يمكن تحقيقها او اقامة الدليل عليها والبحث عن المجهول وحل المعضلات هما جزءان لايتجزءان من العلم.

المنهج العلمى The Scientific Method يتضمن المنهج العلمى وسائل عدة منها حل قضية علمية أو صياغة

فروض، او فحص ظاهرة ما او اجراء التجارب عليها. وقد يشملها جميعها للتحقيق من هذه القضية او تفسير هذه الظاهرة. ويختلف المنهج العلمى عن غيره من المناهج فى انه لايعتمد على التخمين ولايقبل بما قيل ويقال دون استقصاء. ولابد ان تكون هذه الوسائل متباينة حتى يستفاد منها فى حل المعضلات على أوسع نطاق. ومع ذلك فكل هذه الوسائل تختص بصفة واحدة هى أنه لابد ان يتمكن عالم آخر من القيام بتكرار وبتحقيق ماتم اقراره أو ملاحظته. فمهما كان الاعتقاد راسخا، ومهما قيل فى تفسير ظاهرة ما، فان هذا التفسير لايقبل الا اذا اعيد فحص وتحقيق التجارب والمشاهدات التى أجريت عليها.

وفيما يلى نموذج لايضاح الخطوات التى قد يتخذها المنهج العلمى لحل القضايا العلمية. ففى البداية تجمع الحقائق من خلال المشاهدة او عن طريق اجراء التجارب. وغالبا ماتتاح للباحث المدقق من خلال تجاربه فرصة صياغة فرض hypothesis شامل جامع يفسر كل هذه الحقائق أو يقرر العلاقة التى بينها. ثم يلى تلك الخطوة خطوات يتم فيها تسجيل مزيد من الملاحظات او تجرى فيها تجارب اضافية تصمم بطريقة خاصة بحيث تحقق او تدحض هذا الفرض. واذا ماتجمعت البراهين والادلة على هذه الفروض، فانها ترقى الى مصاف النظريات theories. واخيرا اذا ماقبل هذا المبدأ بشكل عام وعلى نطاق واسع، فانه يرقى الى مصاف القوانين Laws. ومع ذلك فانه لاتوجد حدود واضحة تفصل مابين الفروض والنظريات من جهة او مابين النظريات والقوانين من جهة اخرى ، فنحن نذكر مثلا ان للوراثة قوانين هى قوانين مندل، وللغازات قوانين هى قوانين بويل، وللتطور نظرية، وللامراض نظرية وهى النظرية الجرثومية germ theory وللوراثة نظرية هى نظرية الجينات مع ان جميع هذه المبادىء والمصطلحات قد استقر عليها الرأى بصفة عامة منذ عدة سنين.

ومع ان قليلا من المعضلات العلمية قد تم تفسيره وايضاحه بصفة نهائية الا ان العديد منها مازال فى طى الكتمان ويحتاج الى حل نهائى. والحل العلمى لمشكلة ما لايعتبر قاطعا، ولكن يعتبر اكثر احتمالا من غيره، بمعنى ان كثيرا من الادلة تؤيد هذا الحل، وان ماينفيه، ان وجد، قليل.







شكل (1ـ4) (الاعلى الايسر) من الحزازيات الصولجانية
a club moss (Lycopodium complanatum var . flabelliforme)

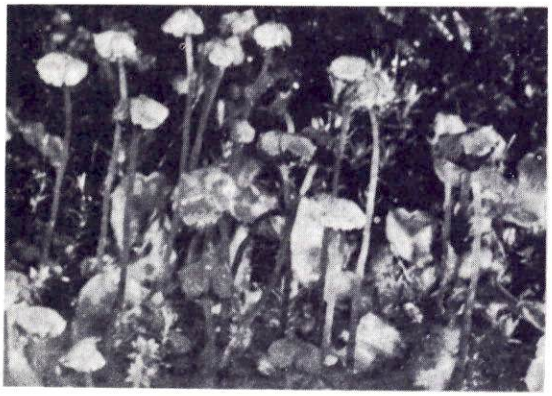
شكل (1ـ5) (الاعلى الايمن) ذيل الحصان الشائع
The common horsetail (Equisetum arvense)

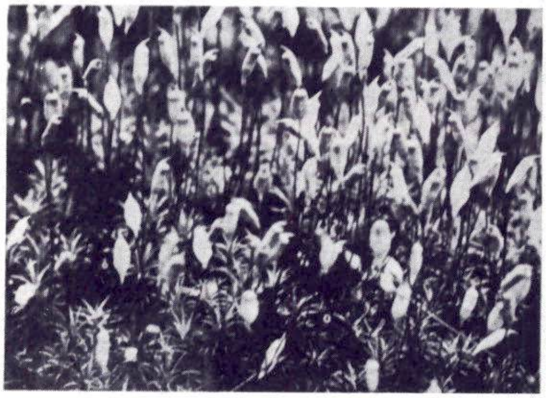
شكل (1ـ6) (الاسفل) سرخس ـ شعر العذراء
The maidenhair fern (Adiantum pedatum)

واحيانا يعجز البحث عن تحقيق الفروض والنظريات بصفة موثوق بها، وحينئذ تنبذ هذه الفروض والنظريات ويستعاض عنها بغيرها التى تبدو اكثر احتمالا. فقد يحدث ان يستقر









شكل (1ـ7) (الايسر الاعلى): الطحالب البنية تنمو على الصخور عند الجزر Tide

a brown alga (Fucus)

شكل (1ـ8) (الايمن الاعلى): فطر الاويستر النامى على شجرة ميتة

a fungus, the oyster mushroom (Pleurolus ostreatus)

شكل (1ـ9) (الايسر الاسفل): الكبديات liverworts (Preissia commutata)

التراكيب القبعية تعلو سيقان طول الواحد منها 25ـ50ـ مم ، وتحمل اعضاء التأنيث والسبورات (spores)

شكل (1ـ10) (الايمن الاسفل) حزازيات ـ قمح الحمام

The pigeon - wheat moss (Ploytrichum)

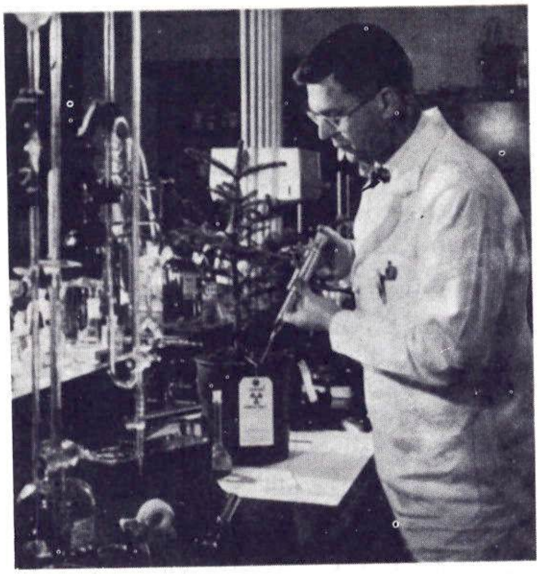
الرأى على قانون ما لفترة زمنية معينة، الا انه لايلبث ان يعدل او يستبدل بغيره. فما كان يعتقد انه حقيقة اضحى ظنا. وبتقدم البحوث بطرق اكثر دقة تظهر أدلة جديدة تناقض نظريات استقر الرأى عليها. فالعلم فى عالم اليوم، ليس هو العلم فى عالم الماضى، ولن يكون العلم فى عالم الغد. فالعلم لانهاية له، ومايدعى «حقيقة» انما هو فى الواقع نسبى وليس مطلقا فالعلم فى تقدم مستمر، فمبادئه الخاطئة تنبذ ليحل محلها مبادىء اكثر نفعا وقيمة. ومايلزم عالم الغد من

تقدم هو نشر الحقائق العلمية ونتائجها وبثها على نطاق واسع، هذه الحقائق والنتائج التى أمكن الحصول عليها عن طريق البحث العلمى ومايلزم ان يتسلح به عالم من علماء اليوم من عتاد هو الاطلاع على الاعداد الكبيرة من المراجع والمؤلفات واستيعابها وفهمها. فالفارق عظيم بين الدارس لعلم النبات، مثلا والبستانى او بائع الزهور، او من يعشق الطبيعة، فقد احرز دارسو علم النبات دراية كافية بالمعارف الاساسية لهذا العلم تمكنهم من تفهم معضلاته الرئيسية ووضع الحلول لها.

النبات علم من العلوم Botany As A Science

علم النبات، كأحد العلوم، يقوم البحث فيه على نهج البحوث التى تتم فى بقية العلوم الاخرى، فلكى يجد دارس النبات اجابات عن تساؤلاته، وحلولا لما يواجهه من معضلات، يلزم ان يكون على دراية باختيار اقرب الطرق التقنية لايجاد هذه الحلول. فقد يلجأ الى العمل فى الحقل، او فى البيوت الزجاجية. وقد يجد حلولا لمعضلات اخرى فى المختبر (شكل11.1) ومهما كانت الطرق التقنية المستعملة، سواء أكانت تحضير شرائح مجهرية او استخدام نظائر مشعة يقتفى أثرها أو زراعة نباتات، او جمعها من غابة استوائية ممطرة، فان الباحث يتبع النهج الذى تمليه عليه هذه المشكلة مستعملا أدوات ميسرة وفى متناول اليد.

المنهج الوصفى Descriptive Methods المشاهدة والوصف هما من أبسط الطرق العلمية المتبعة واقدمها، والباحث أعلم بهما من غيرهما. ففى مجالات معينة، ويتضمن علم النبات كثيرا منها، يلجأ الباحث الى الطرق الرئيسية التى تعتمد على الرؤية المباشرة والوصف. وبالرغم من استحداث طرق جديدة، فان المشاهدة والتعريف، والتصنيف مازالت تعتبر من الطرق الاساسية وتمارس بنشاط حتى الان. ففى بعض القضايا النباتية كتصنيف نوع جديد من النباتات مثلا او تقدير التغيرات فى الحياة النباتية فى منطقة ما بعد تربية الاغنام عليها، او وضع قائمة بالنباتات التى تعيش فى مستنقعات نيوانجلاند، يستغل المنهج الوصفى لدراسة هذه القضايا. وكل مانحتاجه لحل هذه القضايا وما على شاكلتها هو دوام مراقبتها بدقة واسهاب وتسجيل مانشاهده بعناية.



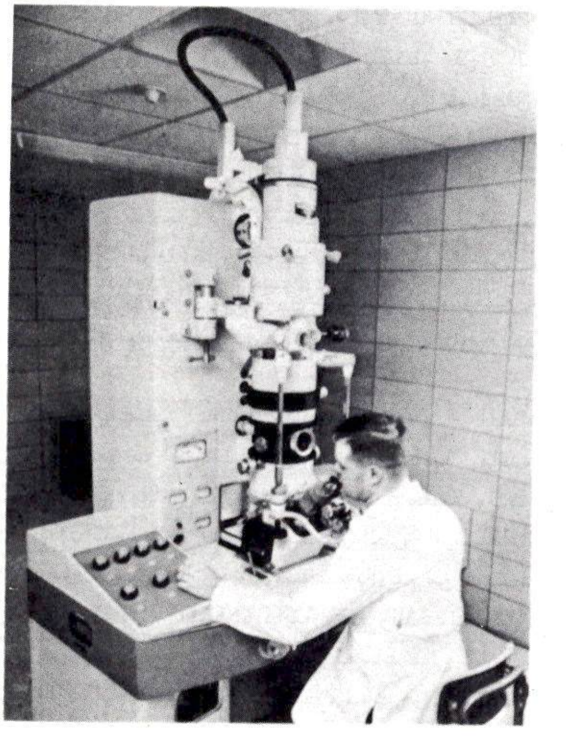
شكل (1_11) استخدام النظائر المشعة radioactive isotopes فى ابحاث انتقال المواد فى الشجرة.

وغالبا ماتستغل الطرق الاحصائية للتأكد من صحة المشاهدات، اذ بها يمكن التحقق من ان ما تم رصده بين افراد العينة النباتية يمثل واقع مايوجد بين افراد المجموعة كلها. والسؤال هو «كيف تؤثر التغيرات الموسمية فى نوع وعدد النباتات المجهرية الهائمة التى تعيش فى بحيرة مثل بحيرة بورنت Burnett ؟ وواضح ان هذا السؤال يتضمن اسئلة اخرى جانبية هى: ما هو عدد العينات النباتية التى يلزم فحصها، ومتى تؤخذ هذه العينات؟. ومن اى جزء من اجزاء هذه البحيرة يلزم اخذ هذه العينات؟ ايلزم اخذها من سطح البحيرة ام من اعماق مختلفة؟ وواضح ان الاجابة على السؤال عن كيفية اخذ العينات يؤثر على البيانات التى يمكن الحصول عليها. فاذا كان من الضرورى ان تنجز هذه البحوث العلمية بصورة قابلة للمقارنة واذا كانت نتائجها يجب ان توضع فى صورة تقبل التحقيق، وجب استعمال الطرق الاحصائية واستغلالها فى اخذ العينات، ورصدها وتسجيلها.

المنهج التجريبى Experimental Methods بالرغم من ان علم النبات بدأ كعلم وصفى، وان بعض نواحيه بقيت على ماهى عليه، الا ان ممارسة تجارب بعينها ولغرض اختبار فروض معينة قد استغلت فى النواحى الاخرى. وتتضمن التجربة فى أبسط اشكالها مقارنة مجموعة من الافراد النباتية يطلق عليها المرجع Checkأو نباتات المقارنة Control بمجموعة اخرى يطلق عليها مجموعة الاختبار experimental group او مجموعة الفحص test group. وتوضع افراد المجموعة الاولى فى ظروف ثابتة اما افراد المجموعة الثانية فتعرض لعوامل مختلفة، كل عامل على حدة. فأى تغير يحدث فى مجموعة الاختبار، ولايحدث فى مجموعة المقارنة يعزى الى التغير فى احد هذه العوامل. ويمكن اداء التجارب المقارنة سواء فى الحضانات الموجودة فى المختبرات، او فى غرف خاصة، او فى البيوت الزجاجية، او فى حقل مكشوف. ويلزم تكرار اية معاملة من المعاملات، بما فى ذلك عينات المقارنة وعادة مايتم تكرار هذه المعاملات ثلاث او اربع مرات، او اكثر حتى عشر مرات، وهذه المكررات سواء أكانت من المزارع المنماة، او النباتات المنماة فى اصص، او المنماة فى الحقول وتوزع توزيعا محكما بحيث لايتأثر اى فرد من النباتات دون غيره بالضوء او الحرارة فى الصوبات الزجاجية مثلا او ان يتأثر بتباين التربة فى الحقل. واى قصور فى اتخاذ هذه الاحتياطات، كما يقوم به الهواة ومن ليس له خبرة يؤدى الى نتائج لاقيمة لها. فالمنهج التجريبى منهج علمى محكم ودقيق فى تصميم تجاربه وتكرارها وتسجيلها لذا فهو يؤدى الى نتائج يعتمد عليها.

علم النبات والعلوم الاخرى BOTANY AND OTHER SCIENCES

يتبين مما تقدم ان اتساع مجال هذا العلم لا يجعله منفردا او مستقلا عن بقية العلوم الاخرى فالخبرة والدراية بعلم النبات تربط ارتباطا وثيقا بما نعرفه عن العلوم الاخرى فمقرر النبات العام، مثلا يشتمل فى الحقيقة على موضوعات جوهرية فى مجال الطبيعة مثل الخواص الطبيعية للسوائل والغازات والقوانين الاساسية للطاقة. كما يتضمن ايضا معرفة ببعض الخواص الكيميائية للعناصر والمركبات. ولدراسة النباتات التى كانت تعيش فى الماضى ثم تطورت يلزم الالمام ببعض الحقائق فى علم الجيولوجيا. وقد أدى ادراكنا للعلاقات المترابطة بين مجموعة العلوم البيولوجية ومجموعة العلوم الطبيعية الى نشأة علوم اخرى يمتزج منها مجال هاتين المجموعتين ببعضهما مثل علم الكيمياء الحيوية biochemistry وعلم (الفيزياء) الحيوية biophysics وعلم النبات الحفرى paleobotany وقد أدى الكشف عن حقائق فى مجال علم الكيمياء الى حلول لمجموعة كاملة من المعضلات النباتية فمعرفتنا لتركيب الجزئيات المعقدة الموجودة فى خلايا النبات والحيوان تسير بخطى مذهلة الى الامام مما أدى الى تفهم افضل للعمليات التى تحدث فى الخلايا وكذلك للآليات الوراثية والعكس ايضا صحيح. فقد تقدم علم الكيمياء وغيره من العلوم بفضل الاكتشافات الحديثة والمعضلات النباتية وكلما تعمقنا فى دراسة العلوم المختلفة كالنبات والحيوان والجيولوجيا والارصاد الجوية والكيمياء، والطبيعة وضح لنا شيئا فشيئا هذا الارتباط الوثيق بينها.



شكل (1-12) المجهر الالكترونى : تستخدم شرائح المادة النباتية بسمك يقل بمئة مرة عن تلك الشرائح المستخدمة فى المختبرات العادية ، وتزيد نسبة تكبيرها مئات المرات عن نسبة التكبير فى المجاهر العادية ، بفضل الشعاع الالكترونى .

ومعظم العمليات والاجهزة التى تستعمل فى البحوث النباتية الحديثة تستغل ايضا فى العلوم الاخرى. ومن بين هذه الطرق والاجهزة المجهر الضوئى Light microscope، والمجاهر المعدلة مثل مجهر الاطوار phase microscope، والمجهر المستقطب polarizing microscope، ومجهر التداخل interference microscope واخيرا المجهر الالكترونى electron microscope (شكل: 1ـ12). ومن هذه الاجهزة ايضا الادوات التقنية المختلفة للفصل الكروماتوغرافى Chromatography والفصل بالشحنات الكهربائية electrophoresis والادوات التقنية لتصوير المواد ذات النشاط الاشعاعى radioautography والمطياف المسجل recording spectrophoto meter، والعدادات التى تكشف عن المواد ذات النشاط الاشعاعى radioisoto-pic counter. وقد كان لجهاز الفصل الدقيق بقوة الطرد المركزى ultracentrifuge الفضل فى احراز تقدم اساسى فى دراسة البروتوبلازم. ويستعمل جميع علماء النبات جهاز التقطيع microtome لصنع الشرائح النباتية.

وقد قدم الحاسب الالكترونى computer مساعدته الكبيرة فى تحليل النباتات. وليست تلك الا بعض الامثلة لهذه الاجهزة والطرق العديدة التى استغلها الباحثون وادت الى مزيد من التقدم فى علوم النبات.

تقدم علم النبات DEVELOPMENT OF BOTANY:

قبل ان تتقدم الدراسة النباتية لتصبح علما من العلوم (اى فى حوالى عام 1950م) كان الانسان يمارس جمع النباتات واستغلالها وزراعتها وذلك منذ الاف مؤلفة من السنين (شكل: 1ـ13) وحينما بدأ الانسان فى زراعة النباتات اعتبر ذلك خطوة رئيسية للتقدم الحضارى تعادل فى المرتبة استغلاله للنار. ونحن على علم بان الانسان البدائى قد استغل النباتات كطعام ودواء وكساء ومأوى. وللنباتات دور هام فى الديانات البدائية فغالبا ما كانت تقام احتفالات قبلية بمناسبة خصوبة التربة وظهور البادرات النباتية فى الربيع، او بمناسبة موسم الحصاد. وفى البداية استغل الانسان البدائى منتجات النباتات البرية، وتلا ذلك نثر بذور البعض منها بالقرب من مأواه حتى يتسنى له بسهولة الحصول على ماتنتجه.

وكما يمكن اعتبار الاجراء السابق مهارة من المهارات التى استغلها الانسان بقصد ضمان بقائه، فانه يمكن اعتباره ايضا الحافز الاساسى لدراسة النباتات. ثم بعد ذلك واجه الانسان كما يواجه اليوم حقا، عدة قضايا هامة، اخطرها العجز فى المحاصيل، ومايرتبط بذلك من مجاعات وفناء. وقد قامت دراسة النباتات على اساس سد حاجة الانسان من طعام ومأوى حتى يتسنى له الحفاظ على صحته. ومازال الانسان فى أمس الحاجة اليهما بالرغم من التقدم التقنى الهائل الذى حققه فى القرون الاخيرة فالعالم يواجه اليوم مدا متزايدا فى عدد سكانه دون ان يقابل ذلك زيادة فى الاراضى المزروعة ولذلك زاد اهتمام الانسان فى الوقت الحاضر بدراسة النباتات اكثر من اى وقت مضى.واكثر مانعرفه عن النباتات فى الوقت الحاضر هى معارف وصفية تسربت الينا من المرحلة التى سبقت اعتبار النبات كعلم من العلوم. ففى باكورة كتب النبات يوجد وصف لاشكال واستعمالات النباتات التى لها قيمة حقيقية او وهمية كدواء وكطعام. وكثير من المهارات النباتية كالتطعيم والزراعة والرى وتربية النبات كانت معروفة منذ زمن بعيد، الا انه يوجد من الادلة القليلة مايشير الى قيام هذه المهارات على فهم اسسها العلمية. وعلى الارجح لم تتح للانسان فى الماضى فرصة تحسين النباتات بسبب جهله بالمنهج التجريبى ومجالاته العديدة. فالامراض النباتية مثلا، كانت معروفة ايام الفيلسوف ارسطاليس، ثم مضى الفا عام قبل ان يتم اكتشاف مسبباتها وعلاجها، وقد ارتقت المهارات النباتية بالتدريج حتى صارت علما من العلوم،فعلى اساس المعلومات الحديثة المكتسبة، بدأ الانسان يتحقق مما قيل فى الماضى. فالتساؤل والملاحظة تؤيدها الدراية والتجربة ـ قد أديا فى النهاية الى وضع المهارات النباتية فى مصاف العلوم. فالفترات التاريخية التى ازدهر فيها الاستقصاء وطلب العلم قد اتسمت بتقدم فى علم النبات، كما تميزت ايضا بتقدم فى العلوم الاخرى . فعصر النهضة اتسم مثلا بالخطوات الكبيرة التى أحرزتها العلوم، والقرن الثامن عشر اتسم بحرية الرأى، اما القرن التاسع عشر فقد تميز بمذهب داروين



شكل (1ـ13) تذرية القمح بالطريقة القديمة (قبل 00 50 سنة)

Darwinism. واكتشاف المجهر المركب فى عام 1590 قد فتح مجالات جديدة رحبة لعلماء النبات، كما اتاح المجال لغيرهم من العلماء حيث اصبح بالامكان استخدام المجهر لدراسة البكتريا وغيرها من الاشكال الدقيقة للحياة، وكان باستطاعتنا بعد ذلك معرفة ان الخلية هى الوحدة التركيبية فى الانسجة النباتية والحيوانية.

وفى نهاية عام 1700 تم ادخال طرق المنهج التجريبى لدراسة عمليات النبات ونشاطه. فقد شهد هذا القرن اكتشاف البناء الضوئى وبداية التعرف على عملية التكاثر الجنسى فى النباتات. وفى هذا القرن ايضا اخذ الرواد الاوائل يجوبون اجزاء كثيرة من الكرة الارضية. فأحدث ذلك تقدما كبيرا فى مجال تصنيف النباتات. وشهد عام 1800 دراسات عن توزيع النباتات توزيعا جغرافيا، وكان من نتيجة ذلك ان زادت معارفنا عن العلاقة بين النباتات من جهة وبين العوامل المناخية وغيرها من العمليات البيئية من جهة اخرى. وفى هذا القرن ثبت وجود نواة الخلية بشكل عام كما تم اكتشاف عملية انقسامها. وشهد هذا القرن ايضا دراسات فى فسيولوجيا النبات ترقى به الى مصاف العلوم الاخرى، كما شهد دراسات كثيرة تبين العلاقة بين النباتات والتربة. وصرنا

على علم بخاصية المناعة وماتسببه البكتريا والفطريات من امراض للحيوان والنبات، ووضعت هذه الموضوعات تحت البحث والدراسة.

وشهد قرننا هذا بدوره تقدما هائلا فى علم النبات، وغيره من العلوم الاخرى. وعلى سبيل المثال لا الحصر، هذه الدراسات التى اسهمت فى معرفتنا لعلم الوراثة وصياغة النظرية الجينية فى هذا العلم. ولكن بالرغم من هذا التقدم الهائل الذى حدث خلال بضع مئات من السنين الا انه من المحتمل ان كل مانعرفه الان هو ضئيل بالقياس الى ما لم يتم الكشف عنه بعد. ومع ذلك يبدو من حسن الطالع ان المعرفة العلمية تسير بخطى وئيدة وتتوالى بسرعة كمتوالية هندسية، فكلما ضلع الانسان فى العلم، زاد مايستخدمه من وسائله لحل المعضلات العلمية.

مجال علم النبات THE SCOPE OF BOTANY

«سمى علم النبات» بهذا الاسم خطأ، لانه لايتألف من علم واحد فقط بل من عدد من العلوم التى ترتبط ارتباطا وثيقا. فاتساع دائرة المعارف النباتية وتشعب فروعها ومجالاتها قد أوجب التخصص فى احد هذه الفروع. صحيح ان بعض هذه المجالات قد تمركزت وظهرت على هيئة اقسام ومايشبه الاقسام العلمية، واحتفظت بنوع من الاستقلال المحلى، الا انها ظلت وستظل جزءا لايتجزأ من العلوم النباتية.

وظل النشاط العلمى فى مجالات العلوم النباتية قاصرا على تصنيف وتعريف النباتات، وكان هذا المجال هو المجال الرئيسى حتى حوالى قرن من الزمان. ويطلق على هذا المجال الان تصنيف النبات plant Taxonomy او علم النبات التقسيمى Systematic Botany. ومازال هذا المجال يلقى عناية واهتماما بالرغم من مرور الزمن. وتصنيف النبات الحديث هو قوام الدراسة فى المجالات المختلفة لعلم البيئة النباتية Plant Ecology، وتشمل هذه الدراسة العلاقة بين النبات ووسطه.اما علم النبات الجغرافى plant Geography فيختص بدراسة توزيع النباتات. وعلم تصنيف النبات يعتبر ايضا قوام الدراسة فى بعض طرز معينة من امراض الحساسية ، وفى مقاومة الحشائش ، وفى مقاومة النباتات التى تسبب تسمما للحيوانات المستأنسة ، كما يعتبر قوام الدراسة فى وقاية الحياة البرية وادارتها وكيفية تجديد مصادرها الطبيعية . وليست هذه كل الانشطة والمجالات التى يقوم بها علماء النبات التقسيمى بل هى جزء منه . فمنهم من يدرس التباين العضوى اى التغير فى طبيعة الانواع النباتية واصلها . وهؤلاء لايهتمون كثيرا بتصنيف النبات قدر اهتمامهم بعمليات التطور .

وبتطور الاجهزة التقنية سواء أكانت للمشاهدة أو التجربة ، ومع تقدم العلوم الاخرى ، ظهرت مجالات اخرى فى علم النبات وتطورت تطورا سريعا خصوصا فى القرن الحالى . ومن ابرز هذه المجالات علم الوراثة النباتية Plant Genetics وفيه يدرس وراثة الصفات . اما تحت الاقسام الاخرى التى تشملها علوم النبات فهى : تشريح النبات Plant Anatomy ، وفيه يدرس تكوين وتركيب النباتات ومعظمها يتبع النباتات البذرية ، وعلم شكل النبات Plant Morphology وهو يولى عناية بالدراسة المقارنة لاشكال النباتات وطرق تكاثرها ، وعلم الخلية النباتية Plant Cytology وهو يتناول دراسة تركيب الخلية وسلوكها ، وعلما الطحالب Phycology ، والفطريات Mycology ويختصان بدراسة الطحالب والفطريات ، وعلم فيسولوجيا النبات Plant Physiology ، وهو يتناول دراسة النظم الآلية والعمليات التى تتم فى النبات ومحاولة تفسيرها بالقوانين الفسيولوجية والكيميائية . اما علم الاحياء الدقيقة Microbiolgy فيختص بدراسة اشكال الحياة المجهرية ، ويشمل هذا العلم فرعا يطلق عليه احيانا علم البكتريا Bacteriology والجزء الاكبر منه يعتبر شبه قسم من علوم النبات حيث انه يتناول دراسة كائنات تصنف ضمن المملكة النباتية . وعدد من المجالات التى ذكرت آنفا ، مثل علوم الوراثة والبيئة والخلية هى من العلوم الحيوانية أو النباتية على حد سواء ، أى أنها من العلوم البيولوجية (علم الاحياء) Biological Sciences . وينطبق ذلك على علم البيولوجيا الجزئية Molecular Biology ويختص هذا الفرع بالتركيب الفيزيوكيميائى Physiochemical للمادة الحية وتفاعلاتها .

وهناك العديد من المجالات فى علم النبات التطبيقى فيختص علم امراض النبات Plant Pathology بمقاومة امراض النباتات التى تتسبب عن الفطريات والبكتريا والفيروسات. وهناك علم النبات الاقتصادى Economic Botany ويتناول دراسة الانواع النباتية التى يمكن للانسان ان ينتفع بها بطريقة مباشرة وكذلك كيفية استغلالها . وهناك ايضا علوم الفاكهة Horticulture ، والبستنة Floriculture ، والغابات Forestry ، والمحاصيل Agronomy ويختص بانتاج المحاصيل وكل هذه العلوم يمكن اعتبارها شبه اقسام من علوم النبات وعلم العقاقير Pharmacognosy ماهو الا فرع من فروع علوم النبات حيث انه يتناول دراسة العقاقير واستعمالاتها المختلفة . فالمواد النباتية يمكن اعتبارها مصدرا اساسيا لكثير من هذه العقاقير .

بعض انجازات علم النبات SOME CONTRIBUTIONS OF BOTANY

بفضل الدراسات النباتية وماتم الكشف عنه منها ، زاد نمو نباتات المحاصيل وارتفع انتاجها . كما أدت هذه الدراسات الى تقدم واضح وذلك باستخدام نباتات جديدة افضل من غيرها .

وللحصول على هذه النتائج اتبعت طرق عديدة ، منها تحسين البيئة التى تنمو فيها نباتات المحاصيل ، ومنها مقاومة الآفات التى تصيب النباتات ، ومنها انتاج أصناف جديدة باستخدام طرق التربية ، ومنها ادخال أنواع وأصناف جديدة من النباتات . ولقد أحدثت هذه التحولات تغيرا عميقا وكان لها أثرها الواضح على المدى البعيد فى الولايات المتحدة الامريكية وغيرها من بقية أجزاء العالم .

وبفضل الطرق المختلفة لتربية النباتات تم تحسين الانتاج لاى نبات من نباتات المحاصيل . ومن أبرز الامثلة فى هذا السبيل هجين نبات الذرة (السبول) . فقبل استحداث هجين الذرة كان متوسط انتاج الفدان من الذرة فى الولايات المتحدة هو حوالى 2,46 م^3 . أما الآن فقد بلغ الانتاج عموما اكثر من 3.52 م^3 للفدان ، بل انه وصل فى بعض الاحيان الى اكثر من 10.56 متر مكعب للفدان الواحد . وبطبيعة الحال لم تكن هذه الزيادة نتيجة لادخال هذه الهجن الجديدة بل ان معظمها هو حصيلة استحداث طرق جديدة للانتاج .

وفى الاقطار النامية الاستوائية وشبه الاستوائية تم انتاج اصناف جديدة من الارز ، والقمح ، والذرة البيضاء Sorghum وغيرها من نباتات الحبوب ذات الانتاج المرتفع . وقد ساعدت هذه السلالات الجديدة فى اطعام العالم الجائع . ومما يذكر بهذا الخصوص القموح المكسيكية الجديدة القزمية التى تمتاز بوفرة انتاجها ، وتيبس قشها ومقاومتها للامراض ، وكذلك الارز الفلبينى الذى استغل على نطاق واسع فى الاقطار الاستوائية . فالسيقان الاكثر تيبسا لا تساعد على رقاد Lodging أو سقوط النباتات على الارض خصوصا عند رى التربة أو تسميدها وبذرها بوفرة .

فالانتاج فى هذه الاصناف الجديدة يتضاعف ثلاث مرات أو اكثر اذا ماقورن بالسلالات القديمة .

وفى الامكان استغلال الطرق الحديثة فى تربية النباتات بغرض تحسين نباتات المحاصيل وذلك بوسائل اخرى غير الوسائل التى تؤدى بطريقة مباشرة الى الزيادة فى انتاجها . فبالامكان زراعة الاصناف المقسية Hardy Varieties من نباتات المحاصيل التى يمكن استحداثها بطرق التربية فى أماكن معينة لانها اقدر من غيرها من الاصناف غير المقسية على تحمل الظروف غير الملائمة سواء اكان ذلك بالنسبة للتربة او للمناخ . فقد امتد الحزام الذى يزرع فيه نبات القطن غربا وذلك بفضل الاصناف الجديدة منه . وقد استحدثت اصناف جديدة من فول الصويا التى تزهر فى فترات نهارية متباينة ولذلك اصبح فى الامكان زراعتها فى أماكن كان خط عرضها لايسمح لاصنافها القديمة ان تزهر فى الظروف السائدة من الفترات النهارية . وبفضل اصناف الذرة والقمح والذرة الرقيقة التى تقاوم الجفاف Drought–Resistant Varieties أمكن زراعة كثير من المساحات التى توجد فى الاماكن شبه الجافة .

ويرجع الفضل الى علماء النبات فى استحداث وسائل جديدة لمقاومة كثير من الامراض الفيروسية والبكترية والعفن والاصداء وغيرها من الفطريات التى كانت تحد من انتاج المحاصيل . وكان من الضرورى استحداث هذه الوسائل فى مقاومة الامراض للحصول على محاصيل وفيرة من القطن

والبطاطس والموز وغيرها من النباتات . ويمكن مقاومة الامراض التى تصيب النباتات باستحداث اصناف جديدة منها مقاومة للامراض Disease- Resistant Varieties فمثلا امكن بطرق التربية استحداث اصناف من الشوفان Oats مقاومة لامراض صدأ الساق Stem Rust ، والصدأ التاجى Crown Rust ، والتفحم المفكك Loose Smut واللفحة الهالية Halo Blight . وبفضل علماء تربية النباتات امكن الحصول على اصناف جديدة من بنجر السكر مقاومة للفيروس الذى يسبب مرض القمم المجعدة Curlytop ، كما امكن الحصول على اصناف من الفول والفاصوليا بانواعها المختلفة ، كذلك قصب السكر المقاومة لمرض التبرقش Mosaic Disease ، بالاضافة الى انواع من البازلاء والطماطم والذرة الحلوة Sweet Corn المقاومة لمرض الذبول Wilt- Resistant ، وكذلك الكرنب الذى يقاوم مرض الذبول الأصفر Yellows- Resistant . كما امكن استحداث اصناف عديدة اخرى مقاومة للامراض يستغلها الانسان كغذاء أو للزينة على حد سواء .

توطين النباتات Plant Introduction

جميع الفواكه والخضروات والحبوب التى توجد فى الولايات المتحدة باستثناء بعضها غير الدخيل على امريكا الشمالية ، أو الذى امكن الحصول عليه سواء بعملية الانتخاب او بوسائل التربية للنباتات المستوردة ، جميعها قد تم استيرادها من اجزاء اخرى من العالم . ففى زمن الاستعمار ، ادخل الى الولايات المتحدة كثير من النباتات ذات القيمة الاقتصادية الكبيرة . وقد استمر البحث عن محاصيل اخرى جديدة حتى وقتنا هذا . وفى بداية عام 1897 ، انشأت وزارة الزراعة الامريكية قسما بها يعرف الآن بفرع الاستكشاف والاستيراد Section of Plant Exploration and Introduction ووضعت له برنامجا مفصلا لتعيين الاماكن التى منها يمكن استيراد المواد النباتية بغرض تنويع وتحسين الزراعة الامريكية .

وفى هذا المجال أبدى علماء النبات نشاطا ملحوظا . فقد تم ادخال 180 000 نبات ، صار معظمها فيما بعد من المحاصيل النباتية الهامة . ومن ضمن هذه النباتات سلالات جديدة من القطن ، وبقوليات ونجيليات جديدة مثل البرسيم من البيرو Peruvian alfalfa ، ونجيل القمح القنبرى Crested Wheat Grass ، ونجيل المكانس Bromegrass ، وحشيشة السودان Sudan grass . وتشمل هذه النباتات ايضا سلالات جديدة من الحبوب مثل الأرز من اليابان ، والقمح من روسيا ، والشعير من اوروبا وافريقيا . أما نباتات الزينة فتشمل الدردار الصينى Chinese elm وغيرها من اشجار الظل ومن بين نباتات الفاكهة اصناف جديدة من البلح (التمر) ، والمانجو Mangoes ، والافوكادو Avocadoes والبرقوق Prunes ، والخوخ Peaches ، والمشمش Apricots ، والكرز Cherries ، والعنب Grapes ، كما ادخل عديد من اصناف الفول الصويا ، ومن بعضها تم استنباط افضل السلالات بعملية التربية . وقد جاب الرواد الاوائل من علماء النبات الغابات المطيرة الاستوائية ، وصعدوا الجبال الشاهقة فى آسيا الوسطى ، واجتازوا الصحارى الافريقية بحثا عن محاصيل جديدة من النباتات . والهدف من كل ذلك هو الحصول على أفضل النباتات واحدثها لتحسين الزراعة فى امريكا .

التحسينات التى ادخلت على النبات ، ماضيها وحاضرها Plant Improvement, Then and Now

يعترف علماء النبات فى الوقت الحاضر بان كل ماتم من تحسينات فى النباتات حتى الآن ، ليس من صنع ايديهم وحدهم فهم يدركون فى الواقع ان أى نبات من النباتات الرئيسية التى تستغل كمصدر للطعام فى الوقت الحاضر قد عرفت وزرعت منذ مالايقل عن 2000 عام ، وان بعضها ربما يرجع الى اكثر من عشرة آلاف عام فقد عرف الانسان الزراعة منذ القدم . والزراعة هى الخطوة الاولى التى أدخلت لتحسين النباتات . فعن طريق الصدفة او بطريقة لا ارادية عرف الانسان شبه المتحضر الذى كان يعيش فى هضاب المكسيك وبيرو وبوليفيا وشيلى واجزاء معينة من الصين وشمال الهند واواسط آسيا وآسيا الصغرى وربما الحبشة عرف هذا الانسان الزراعة . وفى هذه الاماكن ومنذ اكثر من 20 قرنا عرف هذا الانسان ، الذى يمكن اعتباره عالما من علماء النبات ، كيف يرقى بالنبات ويدفع به خطوة عظيمة الى الامام . فقد اجمع الثقاة من علماء النبات أن ماتم فى الوقت الحاضر من انجاز لتحسين نبات الذرة ، مثلا ، لا يقاس بما

انجزه هذا الانسان ليرقى بهذا النبات قبل ان يراه كولبس .

المهام النباتية الاخرى . Other Botanical Activities

تتشعب وتتخصص المهام التى يقوم بها علماء النبات فى الوقت الحاضر . فهم يشاركون فى البحوث التى تختص بالحشائش Weeds وتشمل مبيدات الحشائش Herbicides ودورات الحياة ، والمستنبتات Cultures وطرق التحكم فيها ، وكذلك دراسة النباتات السامة للانسان وحيواناته الاليفة .

ففى الولايات المتحدة تزيد التكلفة للمحاصيل الزراعية بمقدار 4 مليارات دولار سنويا . ويعكف علماء النبات على تطوير وتحسين النباتات باستعمال منظمات النمو Growth Regulators . وهم يجدون فى البحث عن وسائل جديدة لاستخدام الاسمدة Fertilizers لزيادة انتاج المحاصيل الزراعية ، وكذلك لتحسين التربة . وقد ساهموا فى حل المعضلات الخاصة بتخزين ونقل الخضروات والفواكه والحبوب وقام علماء النبات بالتعرف على حبوب اللقاح المتحجرة ، واستغلوا ذلك فى استنتاج مناخ الزمن الغابر ونعزى الى علماء النبات انجازات كثيرة فى مجال الصيدلة . فقد تعاون هؤلاء العلماء فى البحث عن عقاقير جديدة من اصل نباتى ، وفى المضادات الحيوية Antibiotics ، وكذلك فى دراسة حبوب اللقاح وماتسببه من امراض للبشرية . وقد دعى علماء النبات الى البحث عن مصادر جديدة للالياف Fibers والمواد التانينية Tannins والزيوت الطيارة Essential Oils ، والمواد الصمغية Gums ، والراتنجية Resins وهم يؤدون دورا عظيما فى اكبر معضلات العلمية الملحة فى الوقت الحاضر الا وهى تلوث البيئة Pollution واستغلال التربة بطريقة سليمة والحفاظ عليها وعلى الماء واراضى المراعى والغابات لمواجهة الزيادة المضطردة فى عدد سكان العالم . واخيرا فان علماء النبات ، مثل غيرهم من العلماء ، يواصلون البحث فى المجالات البحثة بغية توسيع آفاق المعرفة وزيادة تراثنا الثقافى . فالبحث عن المجهول وملاحقته واكتشاف الحقيقة ، لمجرد انها حقيقة ، غالبا مايستغلها الانسان فيما بعد لتعزيز قبضته على محيطه الطبيعى وتسخير مافيه لصالحه .

تفسير انشطة النبات THE INTERPRETATION OF PLANT ACTIVITIES

ان علم النبات ، مثل بقية العلوم الاخرى ، قد تم جمع معارفه بتؤدة وروية وعلى أساس من الملاحظات المتكررة والتجارب المحكمة الدقيقة وقد حلت هذه المعارف ، بعد جمعها ، محل الآراء التى كان اساسها المعتقدات السائدة وماتناقلته الالسنة . فقد برهن المنهج العلمى على ان النباتات ماهى الا آلات حية تديرها قوانين طبيعية وكيمائية وان تركيبها وعملياتها ماهى الا وليدة التفاعل الذى يحدث بين ماورثته هذه النباتات من صفات وبين المحيط الذى تعيش فيه .

وعلى العكس تماماً مما يظنه اغلب الناس من تفسيرهم لنشاط النبات على اساس ماعتادوا عليه فى تصرفهم وسلوكهم فهم يظنون ان النبات يسير على منوالهم فيعين غايته قبل ان يقوم بنشاط معين ، ويتكهن بنتائجه المرتقبة قبل تأديتها وهذا مايطلق عليه عموما الاصطلاح المعروف باسم المنهج الموجه Teleology وعلى حسب هذا المذهب تتشكل الكائنات الحية وتتصرف عن عمد وبوعى ونية وكأنها موجهة . وهذا يعنى ان تركيبا معينا فى النبات قد نشأ ليفى بغرض خاص ، او ان احتياجات النبات ومتطلباته هى السبب فيما يقوم به من مهام ، وتهدف الى غايات معينة . فمثلا يقال ان "الاشجار فى الغابة تنمو الى أعلى لتصل بأوراقها الى الضوء" ، وان "النباتات تتكيف بما يحيط بها من بيئات جديدة" ، وان "الجذور فى الاجواء الجافة تتعمق فى التربة بحثاً عن الماء" ، وان "مايحمله النبات من أشواك وحسك هو لحماية نفسه من رعى الحيوانات" ، وجميع هذه الاقاويل هى وليدة المنهج الموجه وعموما فان أى قول يعنى ان بنيانا او عمليات تتم فى النبات عن وعى "بغرض" او "بهدف" الحصول على نتيجة معينة ، هو قول موجه وغير علمى .

وعادة مانذكر هذه الاقوال السابقة ، فى معرض الكلام عن المعضلات الخاصة بمواءمة النبات لبيئته إى التغيرات التى تحدث فى تركيب مجموعة من الكائنات الحية . وقد تذكر فى معرض الكلام عن وظيفة وتركيب كائن حى واحد وكيف انه

اصلح من أى فرد أو مجموعة من الافراد الاخرى نتيجة لمواءمته للوسط المحيط به . ومن امثلة التحورات التى تحدث فى التركيب البنائى لتتلاءم مع البيئة وجود المسافات الهوائية فى انسجة النباتات المائية أو الملحية ومن امثلة التحورات الفسيولوجية التى تتلاءم مع البيئة قدرة انواع معينة من الاعشاب فى القطب الشمالى على النمو والتكاثر فى درجة حرارة تبلغ الصفر المئوى (32 ف°) أو اقل ، كذلك قدرة بعض النباتات على النمو فى ظل النباتات الاخرى ، وعدم قدرتها على النمو فى وسط مشمس مكشوف .

ومن الاهمية بمكان ان تتلاءم النباتات مع الاوساط التى تعيش فيها ، والدليل على ذلك قدرتها على البقاء والتكاثر فى هذه الاوساط ، الا ان النباتات لا تستطيع توجيه مصيرها او ادراك الهدف من مهامها فهى لاتشيد بنيانها بوعى او ذكاء حتى تضمن البقاء . من ذلك يتبين ان أى تفسير لبنيان النبات وعملياته الحيوية على اساس المنهج الواعى هو تفسير يحول دون البحث عن الحقائق البيولوجية واستقصائها . والطالب الذى يفسر بنيان النبات وسلوكه بالمنهج الواعى انما يربك نفسه ، وقد يعوق ذلك فهمه للحياة النباتية وادراكه لطبيعتها .

الفوائد الاقتصادية للنباتات ECONOMIC USES OF PLANTS

سبق ان اشرنا الى بعض الفوائد الاقتصادية للنباتات . وتعتبر الانواع التى يستغلها الانسان لصالحه قليلة اذا قورنت بماهو معروف عن وجود ثلث مليون نوع من النباتات .

فعدد الانواع التى تذكر فى أى مرجع من مراجع علم النبات الاقتصادى تزيد عن 1000 نوع ومن بين هذا العدد 40 نوعا فقط ينتمى الى الطحالب والفطريات ، والاشنات والسراخس . أما الباقى فينتمى الى النباتات البذرية . وبالرغم من ان هذه الاعداد هى مجرد مثال (حيث لم يذكر الا عدد قليل من الانواع النافعة من البكتريا والعفن) الا أنه مما لاشك فيه ان معظم النباتات التى لها قيمة اقتصادية هامة تنتمى الى النباتات البذرية . وقد يتضاعف العدد فى قائمة النباتات الاقتصادية عشر مرات اذا ـ تضمنت هذه القائمة النباتات التى تستغل فى بعض الاحيان ، أو التى تستغل محليا ، أو التى تستعمل بصفة ثانوية . ومع ما يوجد فى هذه القائمة من قيود الا أنها تثير الانتباه اذا ما اخذ فى الاعتبار مدى ماتحويه من أنواع النباتات المختلفة واجزائها العديدة ، وكذلك الوسائل ا لمتباينة لاستغلال هذه النباتات . ولن نذكر فيما يلى من فقرات الا عددا قليلا من هذه النباتات الاقتصادية .

ويهتم الانسان فى المقام الاول باستغلال النباتات التى هى مصدر طعامه فهو يولى عناية خاصة للنباتات التى تنتج الغلال Cereals او الحبوب Grains . وتنتمى كل هذه النباتات الى النجيليات التى مارس الانسان زراعتها منذ عصور ماقبل التاريخ . والغلال الاساسية هى القمح والذرة ، والشعير والشيلم (الجودار) rye والشوفان والدخن Millets والذرة البيضاء Sorghum . ويشكل كل نوع من هذه الانواع عدة اصناف تتكيف وتتشكل تبعا لنوع التربة والظروف الجـوية . ويوجـــد اكثر من 500 صنف من الذرة . وما يقرب من 200 صنف من القمح تنمو فى الولايات المتحدة . وعلى الرغم من ان نبات الحنطة السوداء Buckwheat لايعتبر من النجيليات الا انه يصنف عادة ضمن الغلال . ويلى الغلال فى الفوائد والاهمية البقوليات Legumes كأنواع البازلاء Peas والفول Beans وفول الصويا Soybean والعدس Lentils . والفول السودانى Peanuts وتشمل البقوليات كثيرا من نباتات الدريس Hay ونباتات الرعى Forage ، مثل البرسيم الحجازى وانواع النفل Clovers ، كما تشمل ايضا نباتات يستغلها الانسان بطريقة مباشرة . وتشمل الخضراوات Vegetables ضروبا عديدة من النباتات التى تؤكل اجزاؤها وبعضها تنمو تحت سطح التربة مثل البطاطس والبطاطا والتارو Taro والكاسافا Cassava واللفت Turnip والجزر Carrot وبعضها الاخر ينمو فوق سطح التربة ويطلق عليه الخضروات الورقية مثل الكرنب Cabbage والخس Lettuce واللبدان Chard ، والكرفس Celery وانواع كثيرة من الفواكه سواء من الاجواء المعتدلة او الاستوائية تكون جزءا هاما من غذاء الانسان . والبذور التى على شكل بندقة Nuts ذات قيمة سواء كغذاء او لاستغلالها فى الصناعة .

وتنقسم المواد الغذائية الى ثلاث مجاميع رئيسية هى الكـربوهيـدرات Carbohydrates (المواد السكـريـة

والنشوية) والزيوت والدهون Fats And Oils ، وكذلك البروتينات Proteins . ويمكن الحصول على الكربوهيدرات بطريقة مباشرة من النباتات . اما الدهون والبروتينات فيمكن الحصول عليها اما من النباتات او من الحيوانات التى تتغذى على النباتات . وتحضر المواد السكرية من الذرة ، كما تستخلص من قصب السكر او من بنجر السكر ، ويعتبر العسل ، اصلا من المواد السكرية الطبيعية ولو ان نحل العسل يستخلصه من الزهور . ومعظم النشاء الذى نستعمله نحصل عليه من الذرة والقمح ، غير ان جزءا منه نستخلصه من البطاطس او نبات حشيشة السهام Arrowroot او جمار النخل الهندى Sago Palm ، او من الارز او الكاسافا . وتستخلص زيوت الاكل من بذرة القطن او ثمار الزيتون او حبوب الذرة او جوز الهند او فول الصويا او الفول السودانى . اما الزيوت النباتية الاخرى التى تستخلص من بذور التنج Tung والكتان Linseed والخروع Castor والزعفران Safflower فأنها تستغل على نطاق واسع فى الصناعة . وتشمل الزيوت النباتية الشوكلاته التى تستخرج من بذور نبات الكاكاو Cacao (شكل : 1 ـ 14).

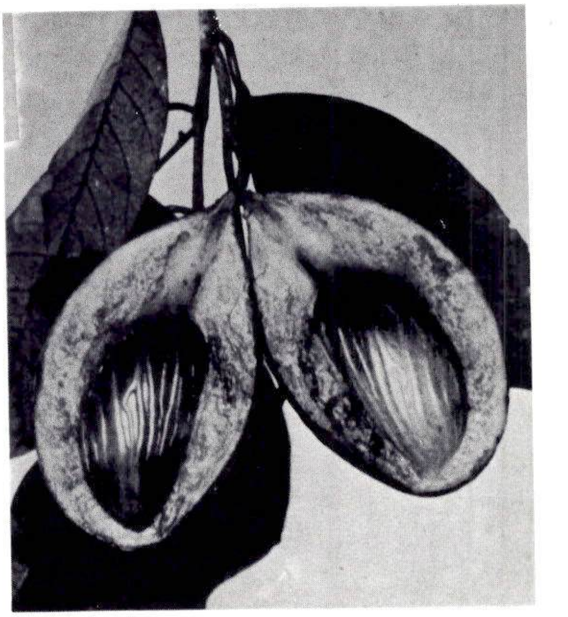
وجميع البهارات Spices التى نستعملها تستخلص من النباتات بالرغم من انها لاتعتبر بدقة من المواد الغذائية . ومن بين البهارات الشائعة الاستعمال الفلفل Pepper والفلفل الحلو Allspice والزنجبيل Ginger وجوز الطيب Nutmeg (شكل : 1 ـ 15) والخردل Mustard والقرنفل Cloves .

وكذلك القرفة Cinnamon وكثير من النباتات العشبية مثل المريمة Sage والزعتر Thyme والثوم المعمر Chives والثوم Garlic تستعمل كتوابل .

ويرجع استعمال النباتات لاغراض طبية الى عصور موغلة فى القدم . فقد مارس الانسان البدائى استعمال كثير من العقاقير مثل الارجوت Ergot والافيون Opium والكينين Quinine ومن امثلة النباتات الطبية الاخرى او منتجاتها نبات اصابع العذراء Digitalis ، والبيلوكاربين Pilocarpine ، وكذلك المورفين Morphine والكودين Codeine (من الافيون)، والافيدرين Ephedrine ، والسكوبولامين Scopollamine والابيكاك Ipecac ، والخردل ، والاجار Agar ، والفيسوستيجمين Physostigmine ، والرسربين Reserpine ، والسترامونيوم-



شكل (1ـ14) الكاكاو (Theobroma cacao) cacao شجرة استوائية صغيرة انتشرت زراعتها المنظمة ، يبلغ طول ثمرتها من 125 الى 325 مم ، وتنمو على السيقان الخشبية مباشرة او على الاغصان ، وتحتوى الواحدة على بذور عددها يتراوح بين 20ـ60 .



شكل (1ـ15) ثمار نبات جوزة الطيب
fruit of nutmeg (Myristica fragrans
واصله من اندونيسيا عرف فى اوروبا منذ القرن 12 .
البذرة الواحدة هى جوزة الطيب المعروفة تجاريا . يحيط بالبذرة غلاف قرمزى Mace . عبارة عن نمو شبكى للخارج يستخدم كنوع من التوابل .

Stramonium وكذلك كوراى curare وتنتج انواع من البكتريا والفطريات اهم المضادات الحيوية (الفصل ـ 20). التى تستغل كدواء حديث . واخيرا يستغل الانسان عددا من المنتجات النباتية لتأثيرها المنشط او المخدر ومن بين هذه المواد الافيون (ومشتقاته من الهروين)، وبذور الكولا Cola ، وبندق التانبول Betel Nuts ، واوراق الكوكا Cola ، والماريجوانا Marijuana والتبغ Tobacco والقهوة Coffee والشاي Tea .

ومن المنتجات النباتية الاضافية التى لها اهمية كبيرة الالياف التي يمكن الحصول عليها من القطن والكابوك Kapok والكتان والجوت Jute والسيسال Sisal والرامى Ramie وبعض المنتجات النباتية اكثر نفعا للانسان من السيليلوز التى يستخرج من القطن والخشب . وتتعرف على مادة السيليلوز من خلال استعمالها كمادة على شكل اوراق الكتابة والملابس القطنية والخشب ، الا ان هذه المادة قد تم تحويلها بفعل عمليات كيماوية الى مواد عديدة مثل الياف الحرير الاصطناعى والمفرقعات والبلاستيك ودهانات اللك ، والدهانات المصنعة ، والاسفنج المصنع ، والسيلوفان وافلام التصوير واغلفة السجق واطارات النظارات . وقائمة هذه المواد تفوق الحصر . وكثير من المنتجات ايضا تستخرج مباشرة من الغابات فبالاضافة الى الخشب نحصل منها ايضا على المواد التربنتينية والاصماغ والرتنجات والشمع والمطاط واشباه الصمغيات Chicle ، والفلين (Cork) .

واخيرا لايمكن ان نتجاهل قيمة الاحساس بجمال النبات وتذوق هذا الفن عندما نعدد فوائده للانسان فالحقول والغابات تعتبر ملاذا لملايين البشر ينشدون فيها الهدوء والاستقرار . وقد قامت على هذا الفن الجمالى صناعات عديدة مارسها كثير منهم بائعو البذور ومحترفو فلاحة البساتين ، واصحاب المشاتل والمهتمون بالحدائق العامة ذات المناظر الخلوية ، وبائعو الزهور .. فالعناية بالحدائق الصخرية ، او الحدائق العشبية ، او الحدائق التى تحوى انواع السوسن او الجلاديولس ، او العانق ، او الورد ، او الانواع العديدة الاخرى من النباتات التى تدخل السرور والمتعة على قلوب الكثيرين من الناس الذين يتلهفون شوقا للحصول على انواع جديدة ويتسابقون فى اقتناء القوائم السنوية للبذور بمجرد نشرها فى الاسواق . وما الجمعيات العديدة التى تهتم بفن الحدائق الا دليل واضح على ماتضفيه النباتات على النفس من متعة وانعاش فالمروج الخضراء من النباتات والمتنزهات والاشجار التى تزرع فى الشوارع وفى الحدائق النباتية او فى المستنبتات الزجاجية او فى مضمار الجولف او حتى فى المقابر تدخل على النفس السرور . فبالرغم مما ينفق سنويا من ملايين الدولارات على نباتات الزينة فان قيمة مانتمتع به من النظر اليها وزراعتها لايقدر بمال .

النباتات حاضرها ومستقبلها Plants, Now And In The Future

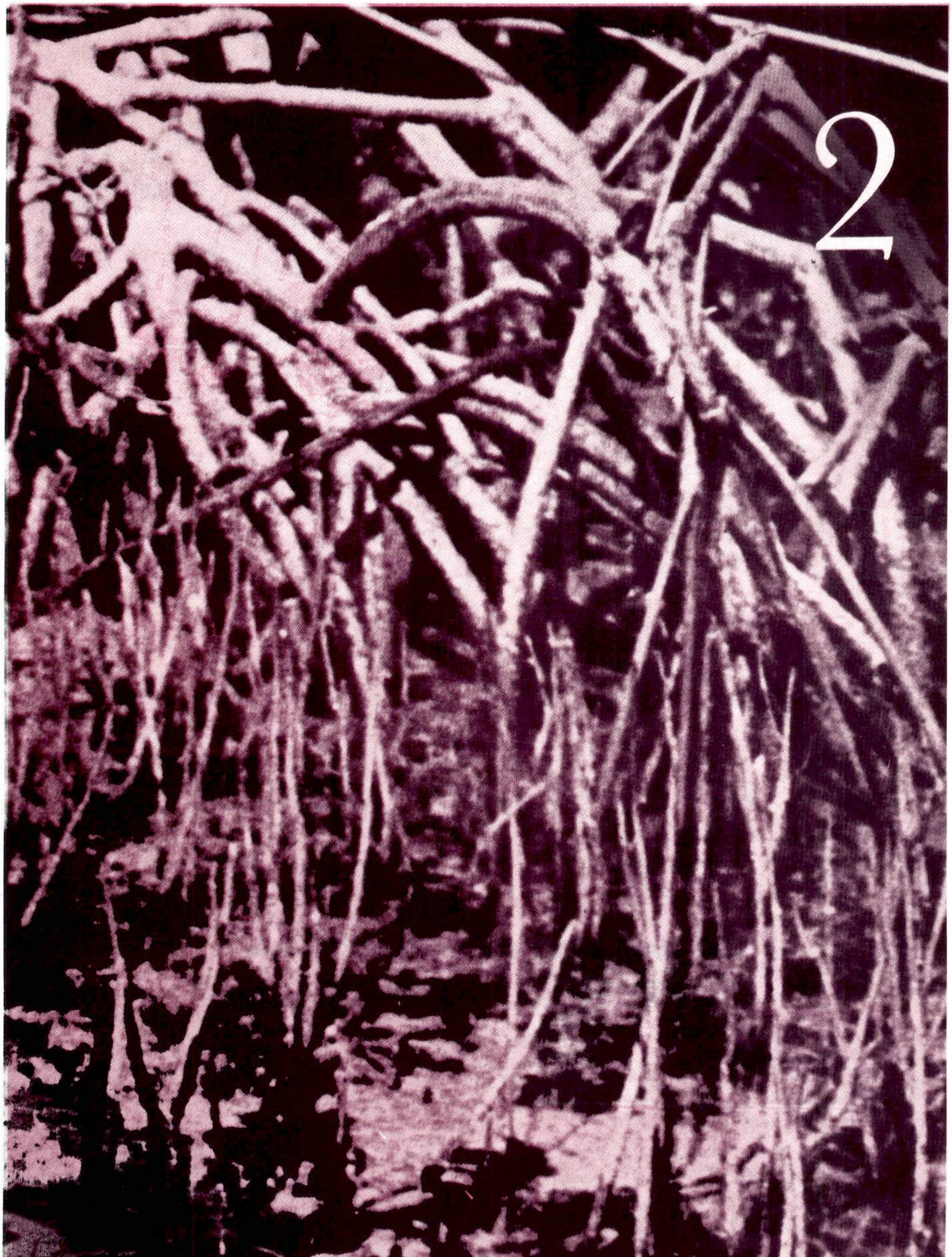
تتضح الان الصورة العامة لقيمة النباتات . فنباتات الماضى السحيق قد طمرت او حورت او حفظت لتنتج الفحم

الحجرى والغاز الطبيعى . ونباتات الحاضر فى اشكالها العديدة التى يسخرها الانسان لخدمة اغراضه الكثيرة هى مواد جوهرية لعالم اليوم . فالانسان يعتمد على النباتات سواء بطريقة مباشرة او غير مباشرة فمنها يحصل على غذائه كله ومعظم كسائه ووقوده الذى يدفء مأواه ويدير صناعاته ومن خشب النباتات امكن للانسان ان يبنى منزله ولن يستطيع الانسان ان يتحرر كلية من اعتماده على النباتات . فعلى الرغم مما وصلنا اليه من تقدم تقنى ستظل الزراعة هى المحور الرئيسى لكد الانسان ونشاطه . وفى الوقت الحاضر يزداد الاقبال على استغلال الطاقة الذرية ويظن ان اهميتها ستزيد فى المستقبل . فاذا مااتسع نطاق هذه الطاقة فان اقصى مانأمله منها ان تحررنا من اعتمادنا على نباتات الماضى التى هى على شكل وقود متحجر . ومحال ان يعمل الكيمائيون على تحريرنا من ربقة نباتات الحاضر وذلك لان الخامات التى تستغل لانتاج الطعام المصنع هى فى معظمها مركبات استخلصت من المواد العضوية . وعلى الارجح ستبقى النباتات الخضراء هى المصدر الرئيسى لامداد العمليات الحيوية بما يلزمها من طاقة .

وبجانب استغلال النبات استغلالا مباشرا ، فانه فى الغالب يكون جزءا لايتجزأ من المحيط الذى يعيش فيه الانسان . فنباتات المراعى واشجار الغابات تحد من انجراف التربة وتآكلها بفعل الفيضانات وتؤثر النباتات على المناخ فتزيد من رطوبته وتعدل من حرارته . وهى مأوى للحيوانات المتوطنة التى تختفى اذا ما ابيد الوسط الطبيعى الذى تعيش فيه . وبالرغم من ان حياة الانسان ورفاهيته تعتمد على النباتات الا ان عبثه بالكساء الخضرى للكرة الارضية منذ العصر الحجرى الى عصرنا هذا ، عصر المحراث الميكانيكى والجرارات الضخمة والمناشير ذات السلاسل ، قد ادى الى الاضرار بهذا الكساء الخضرى . فمنذ بدأ الانسان فى تحويل الاراضى البرية وزراعتها لانتاج طعامه . اهمل النبات ، كما اهمل الارض التى ينمو عليها . ويسىء الانسان الى النبات مع علمه بأنه بدونه لابد ان يعود عاجلا الى التراب الذى جاء منه .

بنيـــة النبـــات - تصميمهـــا وتحوراتها

The Plants and Its Modifications


2

بنية النبات - تصميمها وتحوراتها
The Plants and Its Modifications

بمجرد نظرة عابرة الى حياة النبات يمكن ملاحظة كثرة تعدد اصنافه . فلو تطلعنا الى نباتات الحدائق العامة وشوارع المدينة والمنتزهات والحدائق النباتية لادركنا اذ ذاك تباينها الكبير كما ان زيارة واحدة لاحد معارض الزهور او حتى مجرد الاطلاع على قوائم نباتات مشتل زراعى تجعلك تدرك وجود عشرات بل مئات من انواع النباتات التى تختلف فيما بينها فى اللون والشكل واسلوب النمو والصلابة وصفات اخرى كثيرة .

وبالرغم من وجود كل هذه الاختلافات فان جميع هذه النباتات تشترك فى صفة واحدة وهى انها تقوم بنشاطات اساسية متشابهة . ورغم وجود اختلافات فى التركيب بين الانواع المختلفة فان هناك تشابها كبيرا فى بنائها . وعليه فان بنية النباتات وتصميمها تؤكد هذا الاختلاف الكبير بين الانواع وتكمن وراءه . ولا تقتصر وحدة التصميم على الانواع المختلفة للنباتات الزهرية فقط بل تتعداها الى النباتات التى لها خلايا متخصصة بنقل الغذاء والماء والاملاح او التى تكسب النبات صلابته الميكانيكية وتدعى امثال هذه النباتات بالنباتات الوعائية Vascular Plants .

وبالرغم من وجود اختلافات واضحة بين النباتات الزهرية Flowering Plants - النخيل Palms ، والصبار Cacti ، والكرفس Celery ، والبطاطس Potato فانها مع ذلك تتبع نفس التصميم .

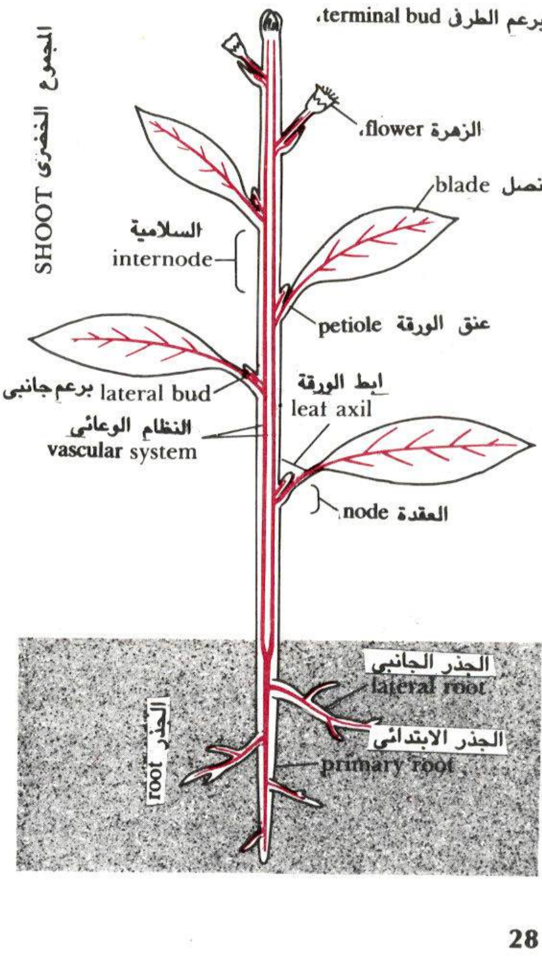
يضاف الى ذلك ان اعضاء النبات واجزاءه ذات علاقة متبادلة مع بعضها البعض . كما ان النبات هو اكثر من مجرد تجميع لاعضائه التى يتكون منها ، وهى الجذور والازهار والثمار والبذور ، وان نشاطات هذه الاعضاء مكملة لبعضها البعض بحيث لا يمكن لاى منها ان يعيش وينمو بمفرده .

تصميم بنية النبات : The Plant Plan

يتألف جسم النبات بشكل رئيسى من المحور axis الذى يكون الجذر فى طرف والساق فى الطرف المقابل كما هو موضح فى شكل (2-1) ويتكون المجموع الخضرى للنبات Shoot System من الساق والاوراق . اضف الى ذلك ان المجموع الخضرى والجذرى يشكلان كل فى مجال تخصصه فى حياة

النبات الاقتصادية ، وحدة واحدة متكاملة . فالجذر Root يقوم بتثبيت النبات بالاضافة الى امتصاص الماء والاملاح المعدنية من التربة ، بينما تكون وظائف المجموع الخضرى (الجزء العلوى من النبات) هى الدعم فى المقام الاول بالاضافة الى تصنيع وتوصيل الغذاء . تتبع استطالة الساق نموذجا منتظما وتحمل الاوراق على الساق اما بشكل انفرادى او فى مجموعات . والساق حديث النمو او كما نطلق عليه الغصن Twig يستدل عليه بوجود العقد Nodesوالتى هى عبارة عن نقاط اتصال الورقة او مجموعة من الاوراق بالساق . كما نسمى المسافات الفاصلة بين عقدتين متتاليتين بالسلاميات Internodes . وان اقدم الاوراق هى تلك

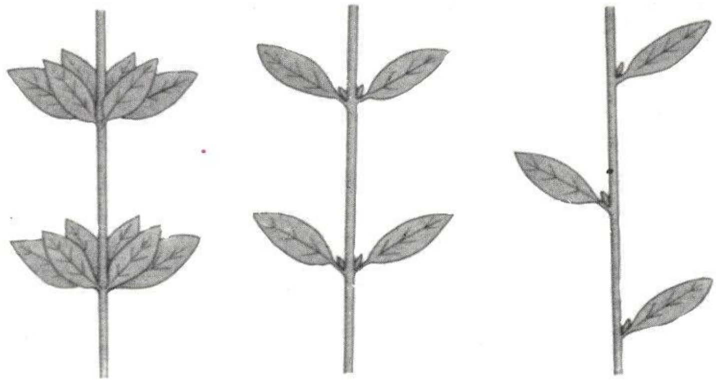
(شكل 2 ـ 1) الاجزاء الرئيسية لنبات وعائى



الموجودة فى قاعدة الساق ، فى حين ان احدثها هى الموجودة فى القمة . اما البراعم فتوجد عادة فى آباط الاوراق axils اى فى الزوايا المحصورة بين الورقة والساق ، ويكفى ان تنمو هذه البراعم وتتحول الى فروع حيث تؤدى فى النهاية الى مضاعفة تركيب الجزء الخضرى الذى نمت عليه . كما يوجد ايضا برعم فى قمة الساق تنشأ عليه انسجة جديدة من الساق والاوراق الاولية لتضاف بدورها الى المحور الرئيسى الاصلى . وتنتظم الاوراق على الساق بطريقة ثابتة لكل نوع (شكل 2ـ2) حيث تبتعد كل ورقة مسافة ما عن الورقة الواقعة تحتها فاذا كان عدد الاوراق فى العقدة هو ورقة واحدة فان ترتيب ارتباطها بالساق يكون تبادليا Alternate اما فى حالة وجود ورقتين فى نفس العقدة وعلى جهتين متقابلتين من الغصن ، فيسمى ذلك بالترتيب المتقابل Opposite . كما وان هناك عددا صغيرا نسبيا من النباتات التى تحمل فيها العقدة الواحدة اكثر من ورقتين فى ترتيب يدعى بالترتيب الحلقى (السوارى) Whorled ويوجد مثل هذا الترتيب فى السيقان والاغصان العشبية .

وعلى الرغم من وجود تراكيب مشتركة بين الجذر والساق الا ان هناك اختلافات واضحة بينهما اذ لاتوجد فى الجذور تراكيب واضحة مثل الاوراق الموجودة على الساق ، ويترتب على ذلك عدم وجود العقد والسلاميات . وعلى الرغم من وجود جذور جانبية ينتج عنها نظام جذرى متفرع الا ان هذه الجذور تنشأ من الانسجة الداخلية للجذر الرئيسى وليس من الانسجة الخارجية كما يحدث بالنسبة للبراعم مثلا .

ويمكن ملاحظة ظاهرة اضافية فى النبات بالمقارنة بما هو موجود فى الحيوانات وهى ان فعاليات اعضاء جسم النبات ليست بذلك التحديد والتخصص كما هو الحال بالنسبة لاعضاء جسم الحيوان ، كالقلب والمعدة والرئتين مثلا التى تقوم بوظائف محددة خاصة بها . وكما يمكن تسمية اعضاء جسم الحيوان كالقلب والخ ، فان للنبات ايضا اعضاء كالزهرة والجذر والساق والورقة ، ويطلق احيانا على الثمار والبذور اعضاء ايضا . هذا ويتألف كل عضو من هذه الاعضاء من مجموعة من الانسجة وكل نسيج من مجموعة من الخلايا . أما انواع الخلايا التى تتألف منها الانسجة فسوف نذكرها بشىء من التفصيل فى الفصول القادمة .



(شكل 2 ـ2) ترتيب الاوراق على الساق
Arrangement of leaves on a shoot

النبـاتات الخشبيـة والنباتـات العشبية : Woody and Herbaceous Plants

يمكن تصنيف النباتات بشكل عام الى نباتات خشبية واخرى عشبية ، وذلك على اساس طول فترة حياة النبات . ويطبق التصنيف احيانا على الجزء الهوائى من النبات فقط ، فالاشجار والشجيرات لها فروع يمكن ان تبقى حية عددا من السنوات ، حيث تدعى بالنباتات الخشبية ، كما ان قطر وطول سيقانها وجذورها يزداد كل سنة ، حيث يزداد ارتفاعها عاليا فى الهواء وتمتد جذورها بعيدا فى اعماق التربة . وبسبب كثافة وصلابة انسجة الساق يصبح النبات قادرا على تحمل واسناد مجموعة ضخمة من الفروع والاغصان والاوراق .

والنباتات التى يعيش الجزء الهوائى منها فترة قصيرة نسبيا والتى يلاحظ ضعف انسجتها بصورة نسبية تسمى بالعشب او بالنباتات العشبية Herbs or Herbaceous Plants . وتعيش فى المناطق المعتدلة بعض انواع هذه النباتات العشبية لفصل نمو واحد فقط ، اما بالنسبة للبعض الآخر من النباتات فان الجزء الهوائى منها يعيش لفصل نمو واحد فقط حيث يتجدد فى فصل النمو القادم . ومن المتعارف عليه والمقبول من الجميع ان النباتات العشبية مشتقة من النباتات الزهرية ذات الطبيعة الخشبية والتى تعتبر نباتات اولية .

هناك بعض انواع من النباتات كالمتسلقات Vines يوجد فيها كلا النوعين الخشبى والعشبى . فللاعناب Grapes مثلا سيقان خشبية فى حين ان نبات نجمة الصباح الشائعة Morning Glory (Ipomaea purpurea) واليقطين Gourds والفاصوليا العمودية Pole beans والفاصوليا القرمزية الزاحفة Scarlet runner beans ، من العشبيات .

النباتات الحولية وذات الحولين والمعمرة Annuals , Biennials , Perennials

تصنف النباتات ايضا تصنيفا اكثر سهولة يعتمد على اساس نموها الفعلى . فالنباتات الحولية Annuals فى هذا التصنيف هى النباتات التى تعيش لفترة قصيرة ، حيث تستغرق فترة حياتها الكاملة من الانبات الى انتاج البذور فصل نمو واحد . ومن بين هذه النباتات عدد كبير ذو اهمية كبيرة للعالم ، كحبوب النجيليات Cereal Grains والبازلاء Pea والفاصوليا beans وكذلك فول الصويا Soybeans والحنطة السوداء buckwheat والكتان flax والجوت (قنب كالكوتا) Juteثم التبغ Tobacco . اما المجموعة الثانية من النباتات فهى ذات الحولين Biennials حيث فى الغالب تنمو خضريا فى السنة الاولى وتزهر وتعطى بذورا فى فصل النمو اللاحق . كما ان المجموع الخضرى للعديد من النباتات ذات

الحولين تتخذ اوراقها شكلا حلقيا (وردى الشكل Rosette) فى فصل النمو الاول ، اما فى السنة الثانية فيعطى النبات أفرعا ورقية تحمل الازهار ومن ثم البذور. ومعظم هذه النباتات من النوع الذى يستخدم كغذاء ، وتزرع فى الحدائق كالبنجر beet والكرفس Celery والكرنب Cabbage والجزر Carrot واللفت Turnip . وبسبب حصاد هذه النباتات فى سنة نموها الاولى كى تستخدم كغذاء لايرى ازهارها وثمارها الا القلة القليلة من العاملين فى الحدائق والبساتين .

المجموعة الثالثة هى النباتات المعمرة Perennials وهذه تعيش لسنوات طويلة وتختلف فيها فترات الازهار . وهى اما من النباتات الخشبية (الاشجار والشجيرات او المتسلقات) او النباتات العشبية ويموت المجموع الخضرى فى النباتات العشبية المعمرة التى تقطن المناطق المعتدلة فى نهاية كل فصل نمو ، ولكن النبات يواصل حياته عن طريق الجذور او السيقان الارضية . وهناك النباتات العشبية المعمرة التى تستخدم كغذاء نذكر منها الهليون asparagus والراوند rhubarb كذلك النباتات العشبية المعمرة التى تستخدم للزينة وتشمل عود الريح Peony والعائق delphinium وزهرة الربيع (كعب الثلج) primula والداليا dahlia والترمس lupine . كما ان اغلب الازهار الربيعية فى غاباتنا ومروجنا الخضراء هى نباتات عشبية معمرة .

ويظهر التمييز بين النباتات الحولية والمعمرة ، وبين الخشبية والعشبية التى تقطن فى المناطق المعتدلة اكثر وضوحا فيما هو عليه فى المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية . فمثلا ينمو الخروع Castor bean فى المناخ المعتدل كنبات حولى ، يموت مع بداية حدوث التجمد فى الخريف ، اما فى المناطق الاستوائية فانه ينمو من سنة الى اخرى كنبات معمر ، ويكون خلال فترة نموه كمية كبيرة من النسيج الخشبى .

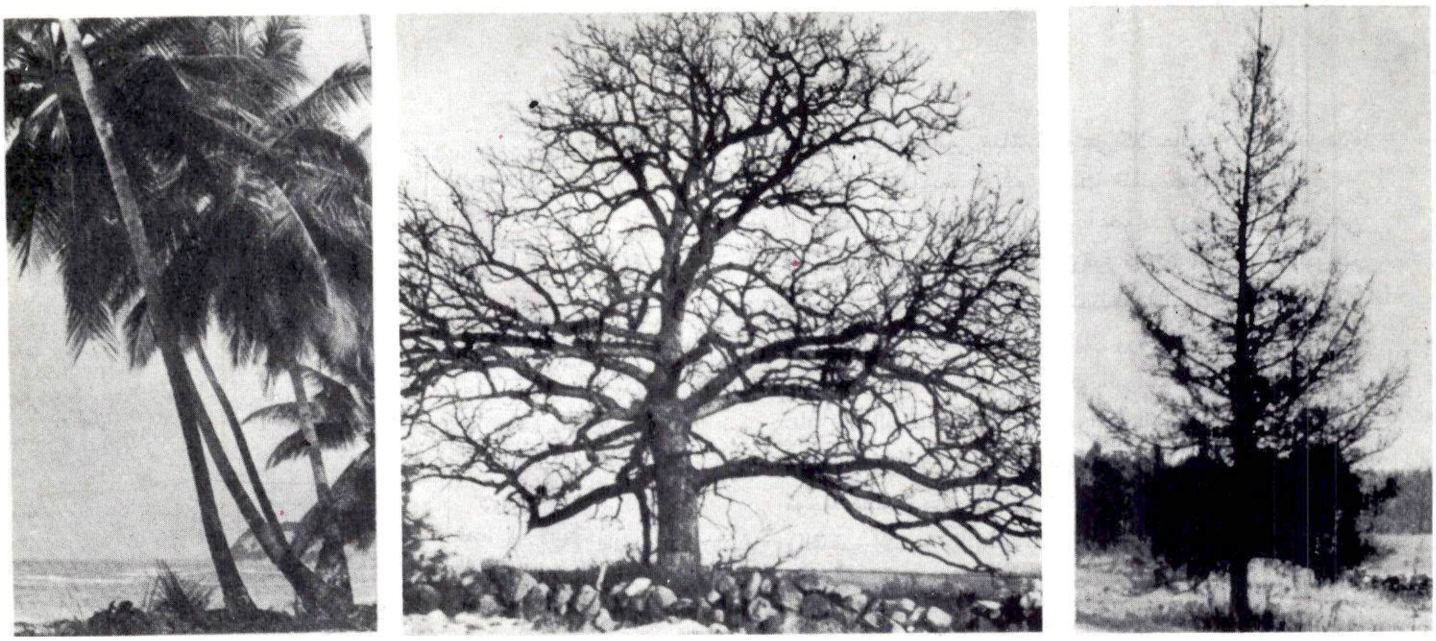
ويدعو النوع الاخير من تصنيف النباتات الى تركيز النظر على مرحلتين من مراحل نمو النبات وهى المرحلة الخضرية Vegetative ثم مرحلة التكاثر الجنسى Sexually reproductive ففى مرحلة النمو الخضرى يزداد حجم الساق والجذور وكذلك الاعضاء الخضرية اما فى مرحلة التكاثر الجنسى فيتم تكوين الازهار والثمار والبذور . وفى بعض النباتات الزهرية كالذرة Corn والفاصوليا Garden bean وهما من النباتات الحولية ــ يمر النبات بفترة نمو خضرى غزيرة ، تعقبها فترة التكاثر الجنسى ومن بعدها يموت النبات . اما بالنسبة للنباتات ذات الحولين فانها تجتاز سنتها الاولى وهى فى مرحلة النمو الخضرى ، وفى السنة الثانية تكمل مرحلة التكاثر الجنسى . فى حين ان الاشجار والنباتات المعمرة الاخرى تتابع مرحلتى النمو الخضرى والتكاثر الجنسى دوريا بدون استنفاذ قدرتها على النمو مرة اخرى .

اشكال النباتات الخشبية Forms of Woody Plants

هناك حقيقة ظاهرة ومعروفة وهى ان النباتات الخشبية تختلف فيما بينها اختلافا كبيرا من حيث الحجم والشكل . فالنباتات الخشبية الكبيرة التى لها ساق قائمة واحدة تدعى بالاشجار Trees اما النباتات الخشبية الاصغر والتى لها عدد من السيقان الظاهرة فوق سطح التربة فتسمى بالشجيرات Shrubs . ان مثل هذه التصنيفات مفيدة عموما ولكن المختصين بعلم النبات يعرفون اكثر من غيرهم ان النباتات التى تعتبر من الشجيرات فى احدى المناطق هى من الاشجار فى المناطق الاخرى ، اذ يكون المناخ غالبا هو العامل المحدد لانتاج ما يشبه الاشجار والشجيرات لنفس الانواع .

وتوجد اختلافات كبيرة بين الاشجار نفسها بالنسبة الى الشكل العام فبعضها كاللاركس larch والتنوب fir والتنوب الفضى (البيسيه) Spruce تكون شبيهة بالبرج . حيث ان لها جذعا رئيسيا واحدا تنشأ عليه فروع جانبية صغيرة ويسمى هذا النوع من النمو بصادق المحور Excurrent وهو الشكل النموذجى ، كما هو فى شكل (2ـ13) ويرجع ذلك الى حد ما الى نموه الطرفى الذى هو اسرع بكثير من النمو الجانبى . وتتصف الصنوبريات بهذا النوع من النمو ، وكذلك فى بعض الاشجار المتساقطة الاوراق ايضا خاصة عندما تكون صغيرة .

ويتبع نموذج النمو هذا اغلب الاشجار ذات الاوراق العريضة ، وخاصة اذا كانت موجودة تحت ظلال اشجار



(جـ) (ب) (ا)

(شكل 2 ـ3) اشكال نمو الاشجار

(ا) صادق المحور excurrent growth ـ مثال لاركس (ارزية) (Larix Larch (laricina.

(ب) كاذب المحور deliquescent ـ مثال البلوط الابيض White oak (Quercus alba) .

(جـ) النمو العمودى columnar ـ مثال جوز الهند coconut palm (Cocos nucifera

كبيرة متفرعة كالكستناء Chestnut مثلا . وفى هذه الاشجار يقل معدل نمو محورها الرئيسى (الجذع) عند تقدمها فى السن ولكن ينشط كثيرا نمو الافرع الجانبية . حيث ينتج عن هذا النمو نظام متسع كثير التفرع ، ذو فروع غالبا ما يصل طولها إلى نفس طول المحور الرئيسى . وهكذا يصعب احيانا تمييز المحور الرئيسى فوق منطقة التفرع . والاشجار المتسعة التفريع تتبع نمطا من نوع متسع (كاذب المحور De liquescent (شكل 2ـ3) . وكما هو متوقع فهناك اشكال وسطية بين هذه التقسيمات فبعض الاشجار تتبع نمطا من النوع المحورى المتطاول فى مقتبل عمرها ثم تنتقل الى النمو المتميع عند النضج .

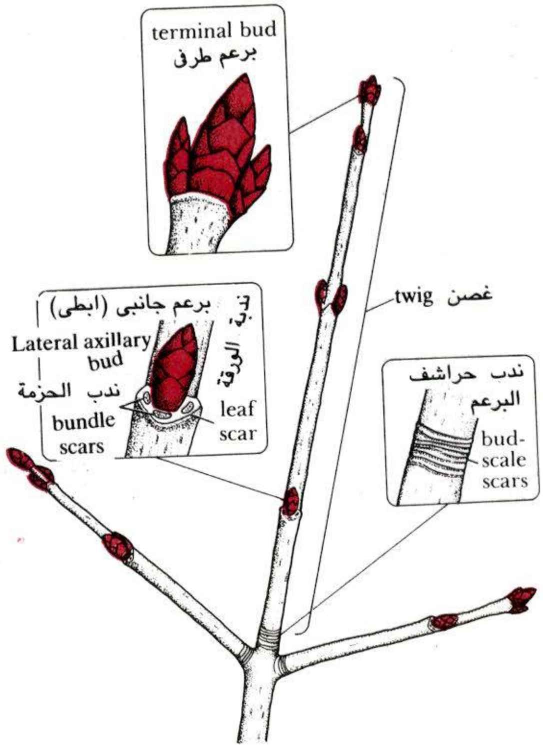
وتمثل اشجار جوز الهند Coconut وبقية انواع النخيل Palms الاخرى نمطا ثالثا للنمو ، حيث من النادر نمو البراعم الجانبية فى مثل هذا النوع من النمو ، ولذلك فان الساق تكون بلا فروع فى العادة ويدعى مثل هذا النمط من النمو بالعمودى Columnar (شكل 2ـ3).

خطوات النمو The Growth Plan

النمو كما يظن عادة هو الزيادة فى الطول . وسواء اكان معدل هذه الزيادة هو 6 بوصات (15سم) او 20 قدما (6 امتار) خلال موسم النمو ، وسواء حدث النمو فى نبات الذرة Corn او شجرة البلوط Oak ، يبقى الاساس ثابتا . ويمكن التعرف على خطوات النمو من خلال دراستنا لاحد الاغصان بعد نزعه من النبات الخشبى .

نمو الساق الخشبية : Growth of a Woody Shoot

توجد الاغصان فى معظم النباتات الخشبية ، . ومن السهولة بمكان دراسة تركيبها فى اشجار كشجرة المران ash او القيقب maple او الحور poplar التى تتساقط اوراقها فى نهاية كل فصل نمو . وتدعى مثل هذه الاشجار بالمتساقطة Deciduous بالمقارنة مع الانواع الدائمة الخضرة evergreen والتى تسقط اوراقها تدريجيا بعد سنة او اكثر ،



(شكل 2 ـ4) الغصن واجزاؤه ـ ساق نبات القيقب السكرى
Sugar maple (Acer saccharum)

ومن هنا فهى لا تخلو من الاوراق الخضراء ابدا ، فى حين ان النباتات الخشبية المتساقطة الاوراق تحمل اوراقها فقط على الجزء النامى من الاغصان خلال موسم النمو الحالى . ويسمى الجزء الحديث الحامل للاوراق من الوجهة الاصطلاحية بالغصن Twig فى حين ان الجزء القديم يدعى بالفرع Branch .

ويحمل الغصن البراعم ايضا ، حيث يوجد البرعم الطرفى Terminal Bud فى نهايته . وهناك براعم صغيرة جانبية او ابطية Lateral Buds موجودة فى اباط الاوراق اى فى الزاوية المحصورة عند نقطة اتصال الورقة بالغصن (شكل : 2ـ1 و 2ـ4) وتختلف البراعم الجانبية عن البراعم الطرفية بموقعها على الغصن فقط . وعلاوة على البرعم الطرفى والبراعم الجانبية توجد البراعم المساعدة Accessory Buds وذلك فى بعض انواع النباتات . ومواقع هذه البراعم هى مناطق العقد فوق البرعم الجانبى مباشرة او على كلا جانبيه . ولا تنمو هذه البراعم المساعدة ما لم يحدث تلف للبرعم الجانبى .

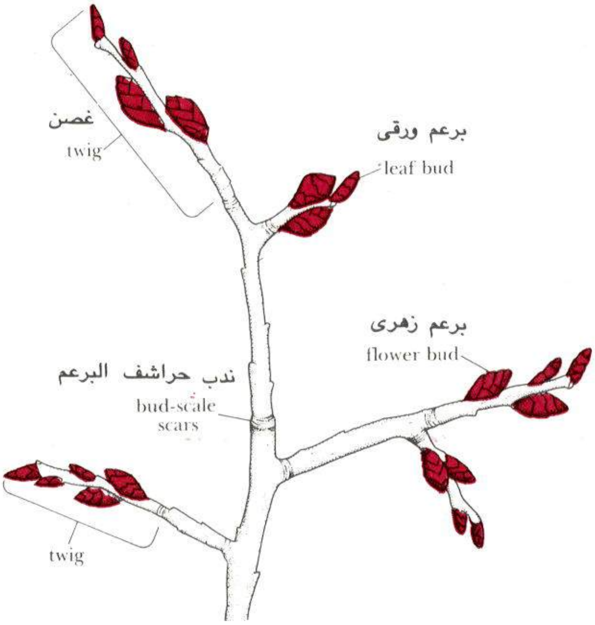
وتنمو اغلب البراعم مكونة اغصانا ورقية فقط ، وتدعى مثل هذه البراعم بالبراعم الورقية Leaf Buds اما البراعم الاخرى فتدعى بالبراعم المختلطة Mixed Buds حيث تحوى منذ البداية اغصانا ورقية وازهارا جنينية embryonic flowers . وتوجد البراعم المختلطة فى التفاح apple والليلك lilac . اما البراعم الزهرية flower Buds فتكون فيها الحراشف البرعمية مغلفة للازهار الجنينية . ولا توجد هذه الحالة الا فى الخوخ peach والكرز Cherry والقيقب الاحمر red maple والدردار elm (شكل : 2ـ5) ويمكن ان تكون البراعم الزهرية والمختلطة براعم مساعدة او طرفية او جانبية حسب موقعها . وغالبا ما يكون حجمها ايضا اكبر من البراعم الورقية .

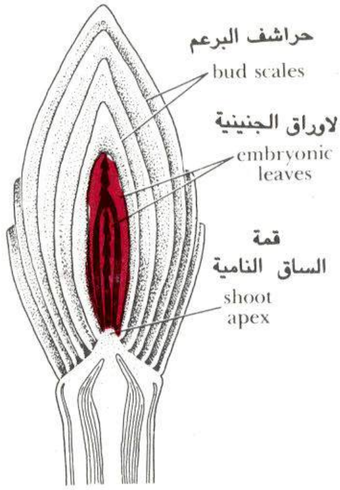
عندما تسقط الاوراق فى الخريف تترك خلفها آثارا على الغصن عند منطقة انفصالها تدعى بندبات الورقة Leaf Scars . ويكون موقع البراعم الجانبية فوق هذه الندبات مباشرة (شكل 2ـ4) وتوجد على سطح ندبة الورقة بقع فلينية corky dots ، وهى عبارة عن نهايات لاشرطة انسجة التوصيل التى تربط الانسجة الوعائية للساق مع تلك الموجودة فى الورقة . هذا وان شكل ولون وموقع البراعم ثم شكل ندبات الورقة وعددها وترتيب الحزم فى الندبة الواحدة تختلف كثيرا بحيث يمكن استخدامها للتعرف على مختلف النباتات الخشبية .

تكون البراعم الطرفية والجانبية لاغلب النباتات الخشبية مغلفة بالعديد من الحراشف الموجودة على هيئة مجاميع فوق بعضها تسمى بالحراشف البرعمية Bud Scales . وتبقى هذه الحراشف فى بعض الانواع فترة من الوقت فى قاعدة الغصن النامى ، فى حين تسقط بسرعة فى الانواع الاخرى . والحراشف البرعمية موجودة فى مجاميع متقاربة حيث يبقى اثرها على شكل حلقات عندما تسقط يطلق عليها بقايا ندبات الحراشف البرعمية Bud - Scale Scars (شكل : 2ـ4) وتستمر هذه الندب لعدة سنوات قبل ان تختفى نهائيا بسبب النمو القطرى للفرع . وحيث ان المسافة بين كل مجموعتين متتاليتين فى ندب الحراشف البرعمية هى علامةعلى نمو الغصن فى الطول خلال الموسم الواحد ، لهذا يمكن تقدير عمر الفرع الصغير عن طريق حساب عدد الندبات عليه ابتداء من البرعم الطرفى حتى قاعدة الفرع .

(شكل 2ـ5) ورقة نبات الدردار وبراعمه الزهرية
elm (Ulmus americana)

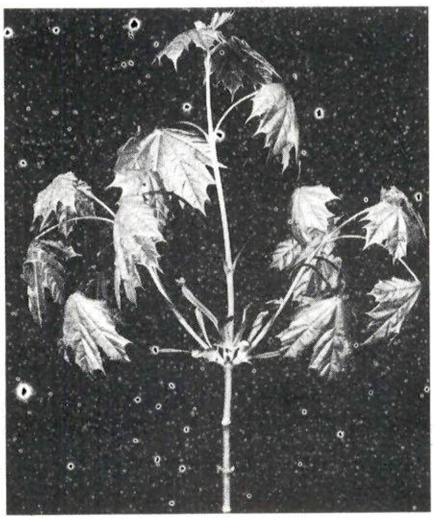
(شكل 2ـ6) مقطع طولى فى برعم طرفى لنبات خشبى

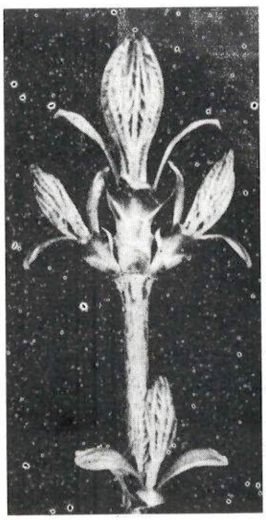


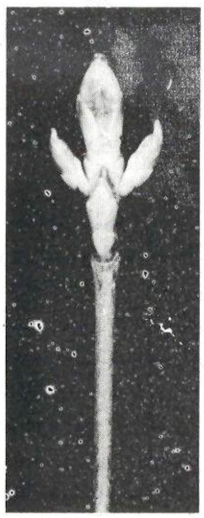


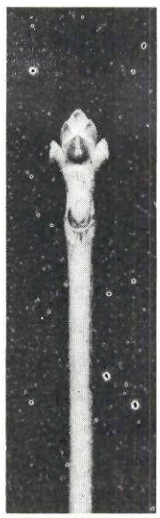
(شكل 2ـ7) تفتح البراعم وتطور الاغصان الورقية فى نبات القيقب النرويجى Norway maple (Acer platanoides)

(أ) برعم طرفى شتوى وبراعم جانبية متقاربة.
(ب) المرحلة المبكرة للنمو.
(جـ) ظهور الاغصان من حراشف البرعم.
(د) الغصن الطرفى وغصنان جانبيان ناضجة تقريبا.

(د)


(جـ)


(ب)


(أ)


ويتألف البرعم بدرجة كبيرة من نسيج جنينى embryonic tissue ويحتمل ان تكون هذه الحقيقة هى سبب الاعتقاد السائد فى اوساط العامة من ان وجود الحراشف البرعمية هو لحماية الانسجة الداخلية الرقيقة للبرعم من برد الشتاء، الا انه لم تظهر اية علامة تؤكد ان هذه الحراشف تمكن من المحافظة على درجة الحرارة كما تفعل مثلا ملابس الانسان - فحرارة انسجة البراعم مقاربة لدرجة حرارة الهواء. زد على ذلك ان الحراشف البرعمية توجد فى العديد من نباتات المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية. وقد ادت كل التجارب والدلائل الاخرى الى استنتاج ان وجود الحراشف البرعمية هو فى الاساس لتقليل فقد الماء من الانسجة الداخلية الرقيقة للبرعم وكذلك لحمايتها من الاضرار الميكانيكية.

تخلو براعم النباتات الخشبية فى المناطق المعتدلة من الحراشف البرعمية الحقيقية، ولذلك تدعى بالبراعم المعراة Naked Buds وفى هذه البراعم تكون الاوراق الجنينية المكتملة النمو مغطاة عادة بشعيرات او حراشف لتغليف وحماية اكثر الاوراق حداثة وصغرا، فلو اخذ مقطع طولى من وسط العديد من الاوراق الجنينية المحيطة بكتلة من النسيج شبيهة بالقبة، لامكننا ملاحظة القمة النامية للساق Shoot Apex (شكل 2 - 6). والبرعم يمثل فى حقيقة الامر غصنا جنينيا embryonic twig وتصبح هذة الحقيقة اكثر وضوحا فى الربيع عند ابتداء فصل النمو لتكوين غصن مطابق للغصن الجنينى الذى تكون منه (شكل 2 - 7)، ويحدث نفس الشىء للبراعم الجانبية، حيث تنمو لتكون اغصانا جانبية، وتوجد بعض النباتات التى لاتتفتح اوراقها فى الربيع بل تبقى منطوية فى البراعم بشكلها الجنينى، كما ان القمة النامية فى نباتات اخرى تضيف اوراقا جديدة خلال فترة النمو.

والظاهر ان الزيادة فى نمو البرعم فى الربيع هو نتيجة للنشاط المتزايد للقمة الجنينية النامية خلال فترة نمو سابقة. وتتألف القمة النامية من خلايا حديثة، تبدأ فى انقسام نشط فى وقت معين، حيث تعتبر منطقة الانسجة الجنينية او المرستيمية Embryonic or Meristematic region للساق هى المنطقة الابتدائية التى تنشأ منها الاوراق ايضا. اما الخلايا الموجودة تحت القمة النامية فتنقسم بدورها وتتسع اساسا عن طريق الزيادة الحاصلة فى طول الخلايا. ويمكن تقدير السرعة التى تتم بها هذه الزيادة عن طريق ملاحظة الزيادة فى طول السلاميات. وغالبا مايكون نمو النباتات الخشبية فى الربيع نموا مذهلا. كذلك نلاحظ على أغلب النباتات الخشبية التى تعيش فى المناطق المعتدلة المناخ وخاصة الاشجار القديمة منها ان الزيادة فى طولها تحدث خلال الاسابيع الاولى من فصل النمو فقط، ثم تعقبها مرحلة نشاط مستمر للقمة النامية لتكوين برعم طرفى اخر مستعد للزيادة والكبر بعد فترة السبات الشتوى Winter dormancy

من دراستنا لتصميم النمو كما هو ملاحظ فى الغصن يتضح التالى: ان نشاطات انسجة البراعم الطرفية والجانبية للنباتات الخشبية ينتج عنها تكوين اغصان طرفية وجانبية فى كل فصل من فصول النمو، ان الزيادة فى طول هذه الاغصان تتم بعد تفتح براعمها. وسيأتى ذكر بعض الانسجة الاخرى التى تسبب الزيادة القطرية للنبات. وبالاضافة الى ذلك يتكون برعم فى القمة النامية للغصن الجديد وبراعم جانبية فى آباط الاوراق على الاغصان الجديدة، وخلال موسم النمو التالى، تنمو البراعم الاخيرة مكونة اغصانا جديدة، والتى تكون بدورها براعم طرفية وجانبية جديدة، وهكذا كل فصل نمو، وبهذه الطريقة يستمر النمو الطرفى والجانبى بلا حدود وبدون توقف.

نمو السيقان العشبية Growth of an Herbaceous Shoot

يحدث النمو فى الاجزاء الهوائية للنباتات العشبية طبقا للطريقة العامة المبينة اعلاه. ولاتتضح معالم البرعم الطرفى فى مثل هذه النباتات، فخلال فترة النمو تبدأ الاوراق بالتوسع بدون توقف فى نفس الوقت الذى تبدأ فيه القمة النامية للساق فى تكوين اوراق وانسجة جديدة تضاف للساق، كما تستمر العقد فى الاستطالة ايضا، ومع ان القمة النامية محاطة بالاوراق الجنينية، فلا يحدث اى نمو جديد لاوراق صغيرة عند تكوين العديد من البراعم الطرفية الجديدة. وهناك نباتات عشبية لاتستطيل فيها السلاميات ويكون جزؤها الهوائى وردى الشكل rosette ولاتخلو النباتات العشبية من البراعم الجانبية ايضا، وان هذه البراعم تنمو مكونة افرعا جانبية خلال نفس الفصل الذى تكونت فيه.

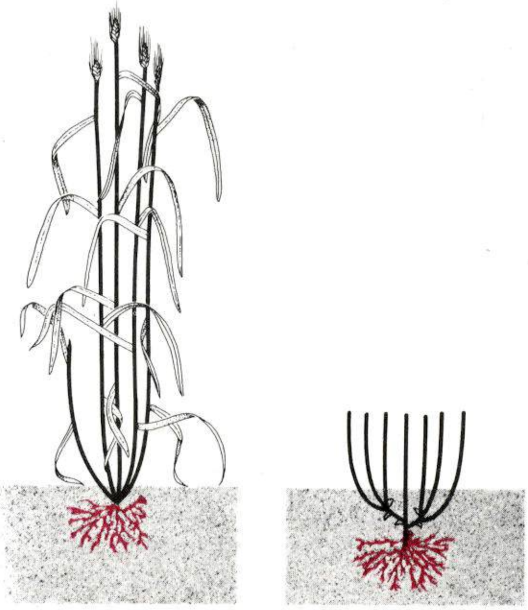
وتوجد فى نباتات الحبوب cereals وبعض النجيليات grasses الأخرى احدى تحورات النمو الجديرة بالملاحظة: فى هذه النباتات يكون المحور الرئيسى main axis للمجموع الخضرى تفرعات عند العقدة الموجودة فى قاعدة الساق، وتوجد هذه العقدة تحت سطح التربة بقليل. وتتقارب العقد فى هذه النباتات كثيرا مما يؤدى الى قصر السلاميات فيها. كما ان البراعم الجانبية فى آباط الاوراق عند قاعدة المحور الرئيسى او كما يسمى بالمحور الابتدائى Primary axis تعطى فروعا هوائية ثانوية aerial branches تكون

متعددة . وتكون هذه السيقان الاضافية منتجة للسكر ايضا قبل الحصاد.

مظاهر خطة النمو Significance of the Growth Plan

يرجع سبب النمو المستمر لطول الساق الى النشاط المرستيمى لقمة الساق النامية، بالاضافة الى مايحدث من استطالة للسلاميات الصغيرة تحت القمة النامية. ومع ان القمة النامية للجذور لاتكون اوراقا الا انها متشابهة مع قمة الساق النامية من حيث كونها مرستيمية، تليها مباشرة regon of elongation منطقة الاستطالة والنمو الطرفى فى كل من الساق والجذر هو عملية مستمرة ويحتمل ان تكون بلا حدود. وبهذه الظاهرة تتكشف اوجه اختلاف صارخ بين النباتات الوعائية من جهة وبين الحيوانات الفقرية، فالحيوان يمر بفترة من التطور كجنين تتكون فيه الاعضاء الاساسية والانسجة، التى تستمر فى النمو بعد الولادة، ولكن الذى يحدث هو زيادة حجم هذه الاعضاء دون اى تغير فى التركيب . فمثلا يولد الكلب باربع ارجل ولم يحدث قط ان حصلت اية زيادة فى عددها. للنبات ايضا مرحلة جنينية مهمة داخل البذرة الناضجة حيث يتكون اثناءها جسم النبات الاولى. ولكن بعد الانبات يستمر نشاط المرحلة الجنينية مع استمرار نشاط القمم النامية للساق والجذر فى تكوين اعضاء وانسجة جديدة، واكثر من ذلك يستمر هذا النشاط بشكل غير محدود. غير ان العوامل التى تتسبب فى تحديد هذا النشاط هى البيئة المحيطة ثم طبيعة امتداد فترة حياة النبات وكذلك آلية التنظيم الداخلى له. وهكذا فان فحص الجنين فى البذرة الناضجة لايكشف لنا عن شكل النبات الذى ينتج عند انباتها وعما اذا كان هذا النبات من الاعشاب التى تنبت على جانب الطريق او من اشجار الغابات. وتستمر النباتات فى نموها عن طريق الزيادة فى قطرها ايضا خاصة النباتات الخشبية المعمرة ولمدى محدود نوعا ما فى العديد من النباتات العشبية الحولية. وتحدث زيادة القطر نتيجة للنمو الواقع فى طبقات الجذع القريبة من السطح حيث تضاف انسجة جديدة الى نظام التوصيل فى الداخل وعدة طبقات الى الخارج كانسجة للوقاية.

وسوف نرى فى الابواب القادمة ان التركيب المجهرى لجسم النبات يختلف عن جسم الحيوان من حيث ان كل وحدة بروتوبلازمية نباتية (خلية Cell) محاطة بجدار قوى نسبيا. وهذه الصفة التركيبية هى نتيجة كون هذه الكائنات غير متحركة. وفى ظل ظروف عدم الحركة يصبح النمو غير المحدود فيها مفيدا لتمكين النبات من التكيف ولو قليلا مع الظروف المحيطة . فمثلا ليس باستطاعة النبات الطواف للتفتيش عن مصادر جديدة من الماء والعناصر المعدنية الا ان



(شكل 2ـ8) تكوين الفسائل (على اليسار) tillering (على اليمين) فسائل الحبوبيات ـ التفرع القاعدى الذى ينتج الفسائل.

فيها العقد متقاربة من بعضها ايضا عند قاعدة كل فرع منها. ويمكن للمحاور والافرع الثانوية ان تكون بدورها افرعا ثلاثية الترتيب عند العقدة الموجودة فى القاعدة (شكل 2 ـ 8) ويمكن ان تستمر هذه العملية حتى تتكون مجموعة مرموقة من الافرع، يعتمد عددها على العوامل الوراثية وعلى مقدار تقارب هذه النباتات فيما بينها وكذلك على تأثير العوامل البيئية. وطريقة تكون الفروع، من العقد عند قاعدة الساق تعرف بالتفسيل Tillering كما تعرف الفروع المتكونة بالفسائل Tillers حيث تكون بعض النجيليات افرعا هوائية خضرية فقط او تكون فسائل، فى حين ان نباتات نجيلية اخرى تنمو بعض افرعها القاعدية بشكل افقى اما فوق سطح التربة او تحتها وتنشأ على عقدها فروع هوائية وهذا مايدعى بنظام الفسائل المنتشرة.

ولظاهرة التفسيل تأثير هام على قابلية النبات على الانتشار، ويمكن الاستفادة منها فى زراعة القمح والشعير مثلا، اذ تبذر بذوره على مسافات متباعدة حيث يتمكن النبات من الانتشار لملء الفراغات الموجودة بين النباتات، وحيث ان فسائل النبات تكون مثلها مثل النبات الاصلى بذورا، لذا تزيد الفسائل من محصولية النبات. ويكتسب التفسيل اهمية خاصة فى نبات قصب السكر، حيث ينشأ من قاعدة الساق الرئيسية النامى من عقدة على قطعة ساق مزروعة سيقان

لاتساع نظامه الجذرى يمكنه من غزو المناطق المجاورة بحثا عن الماء. ويمكن ان يحدث نفس الشيء للمجموع الخضرى حيث يستطيع الاستجابة لتغيير الظروف الضوئية. وربما يكتسب النمو الغير المحدود وجها اخر اكثر اهمية ، حيث من المعروف جيدا انه يوجد فى جسم الحيوان مايسمى باعادة تنظيم الخلايا وهو يختلف حسب نوع النسيج وذلك عن طريق الاستعاضة المستمرة عن العناصر التالفة بخلايا جديدة تحل محل التالفة عن طريق الانقسام. اما الخلايا النباتية المحاطة بجدران متينة والمترابطة فيما بينها فلا يمكن ان تعوض بنفس الطريقة السابقة كما يحدث لخلايا الحيوان، ولكنها تبقى فى موقعها ببساطة مع اضافة خلايا جديدة. ويختلف الامر بعض الشيء فى حالة الاوراق، حيث تسقط الورقة برمتها لتعوض بورقة جديدة، وهكذا نجد ان النبات ينتج على الدوام خلايا جديدة ونشطة لتقوم بالنشاطات الحيوية المختلفة.

التحكم فى نمو النبات: *Control of plant growth* هناك العديد من المسائل المعقدة مازالت غير مفهومة بالنسبة لخطة نمو النباتات والتحكم فيها. فنمو النباتات يعتبر نموا غير محدود ولكن فى حقيقة الامر لايمكن فهم هذه المسألة بسهولة. فمثلا بينما يرتفع العديد من انواع النباتات الخشبية ارتفاعا عاليا للغاية لايصل طول وعمر شجرة التفاح الى طول وعمر شجرة البلوط oak بماذا اذن تختلف خطة النمو؟ وكيف تؤثر الوراثة والبيئة المحيطة على نمو النباتات؟ تعتبر الاجابة عن هذه الاسئلة غاية فى الصعوبة وذلك لعدم التوصل الى معرفتها بصورة كاملة بعد والشيء الذى تجدر ملاحظته حول التقدم الحاصل فى علم النبات هو تأكيد صحة النظريات القديمة التى تقول ان النباتات تنتج مركبات كيميائية عضوية لها تأثير على النمو عند وجودها بنسب وتراكيز منخفضة جدا وتدعى مركبات تنظيم النمو هذه بالهرمونات Hormones وهناك عدد من المركبات الكيميائية تنتج اصطناعيا لها تأثير مشابه لتأثير الهرمونات النباتية ، حيث تدعى مثل هذه المركبات الكيميائية بمنظمات النمو Growth Regulatory Substances – والهرمونات مهمة ايضا فى الحيوانات — مثال ذلك الهرمونات التى تفرز الغدد الدرقية Thyroid glands والغدد النخامية pituitary glands والبنكرياس فى الانسان.

ومن بين الهرمونات النباتية المعروفة 1 الاوكسينات auxins 2 الجبرلينات gibberellins و 3 السيتوكينينات cytokinins، وهناك معلومات اضافية عن هذه الهرمونات وغيرها سنجدها فى الفصل ـ 14. وبشكل عام فان تأثير الاوكسينات والجبرلينات واضح فى زيادة حجم الخلايا، اما السيتوكينيات فينصب تأثيرها على تحفيز الخلايا على الانقسام. ولكن يتضح اكثر فاكثر ان التعميم فى مجال وظائف الهرمونات غير واف بالمراد نظرا لما يحدث لهذه الهرمونات من تأثيرات متعددة بالنسبة لظواهر النمو المختلفة. وتوجد هرمونات النمو فى العديد من اعضاء النبات ولكنها تنتج بشكل رئيسى بواسطة الانسجة ذات النمو النشيط كالقمة النامية للساق والاوراق الحديثة والثمار. وتنتقل الهرمونات عندما يزداد تركيزها عن طريق الخلايا الحية بعيدا عن مناطق انتاجها، حيث يظهر تأثيرها هناك .

ان كل مجموعة من هذه الهرمونات هى مجموعة من مركبات تترابط فيما بينها بعلاقة كيميائية اكثر من كونها مركبات نوعية ليس لها اى ارتباط على الرغم من ان اندول حامض الخليك IAA Indoleacetic يظهر وكأنه الاوكسين الوحيد الشائع، وغالبا مايعتمد تأثير نوع الهرمونات على تركيزه، اذ يكون محفزا للنمو عند تركيز معين فى حين يصبح عاملا معوقا للنمو عند تركيز اخر والاهم من ذلك ان مختلف المجموعات الهرمونية تتفاعل من اجل تنظيم عمليات النمو. وهكذا فان التوازن بين اثنين او اكثر من الهرمونات يمكن ان يكون اكثر اهمية من وجود او غياب او تركيز هرمون ما.

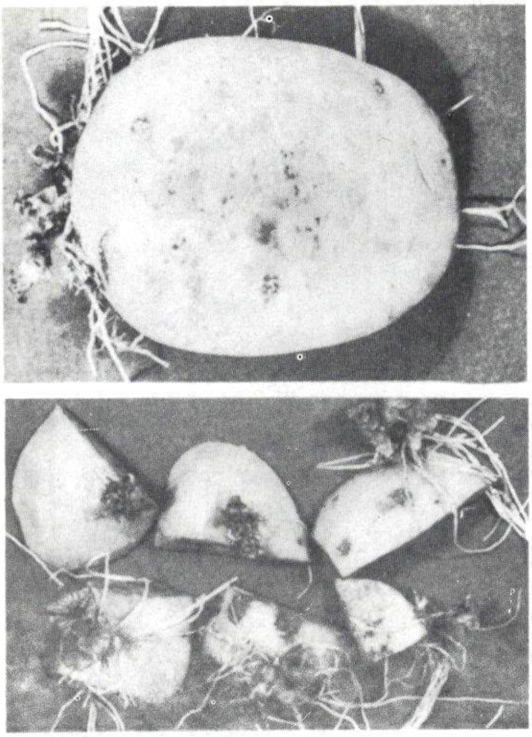
وأخيرا يتزايد الاهتمام بالدور الهام الذى تلعبه المواد التى تعتبر معوقة للنمو او مثبطة له growth inhibiting اكثر من المحفزة له، وتتفاعل هذه المواد ايضا مع هرمونات اخرى. واذا ماالخذ مثل هذا التنظيم الكيميائى الدقيق بعين الاعتبار يتمكن المرء من ادراك درجة تعقيد آلية طرق النمو المختلفة والمتنوعة.

السيادة القمية *Apical dominance* يتضح بجلاء دور الهرمونات فى تنظيم نمو النباتات من خلال السيادة القمية، وهى اكثر الصفات المميزة فى نمو النبات. اذ تعنى السيادة القمية ان البرعم الطرفى للساق يمارس تأثيرا على نمو البراعم الجانبية، اذ يوقف نموها تماما فى بعض الاحيان، ويكبحه او يحوره فى احيان اخرى. وبهذه الطريقة يتم التحكم فى عدد التفرعات، بجانب التحكم فى نمو التفرعات الجانبية التى غالبا ماتكون اقل حجما من المحاور الرئيسية، او تتحور فى شكلها. اما فى حالة ازالة البرعم الطرفى فان البراعم الجانبية المثبطة للنمو فى السابق تبدأ فى النمو من جديد او تتزايد سرعة نمو الفروع الجانبية المحدودة النمو فى السابق. وتفقد السيادة القمية سيطرتها ايضا فى حالة تناقص نمو المحور الرئيسى الذى يمكن ان يكون سببه تقدم عمر النبات او عندما تكون البراعم الجانبية واقعة على

مسافات بعيدة من القمة. وغالبا مايحدث هذا التأثير المثبط للبرعم الطرفى بسبب كمية الهرمونات (مجموعة الاوكسينات) المتكونة فيه. فمثلا فى حالة ازالة البرعم الطرفى يمكن الابقاء على تأثيره المثبط للنمو عن طريق معاملة الجزء الطرفى بالاوكسينات، علما بان آلية هذا التأثير المثبط غير معروفة تماما الى الان. ويعتقد بعض المتخصصين فى علم النبات ان الهرمونات الموجودة فى قمة غصن يمكن ان تؤثر بصورة مباشرة على الانقسام الخلوى ونمو البراعم السابقة dormant buds سواء بالتقليل ام بالايقاف، وهناك من يعتقد ان هرمونات القمة تؤثر بشكل ماعلى الانسجة الناقلة للمواد الغذائية وذلك عن طريق توجيه الغذاء باتجاه القمة بعيدا عن البراعم الجانبية. وبطبيعة الحال يؤدى قطع القمة النامية الى ازالة تأثير سيادتها. كذلك اصبح واضحا الان ان سيادة القمة النامية هذه تحدث بفعل اكثر من هرمون واحد. ويؤكد هذه الحقيقة ان استخدام هرمون السيتوكينين لمعاملة البرعم المثبط يمكن ان يتسبب فى نموه على اثر ذلك. وهكذا تدخل فكرة التوازن الهرمونى فى الاعتبار من خلال تصور نوع العوامل المحددة لطريقة نمو النبات.

والسيادة القمية مهمة بالنسبة لنمو التبغ مثلا tobacco (Nicotiana tabacum) فالتبغ نبات عشبى طويل (طوله 120 — 200 سم) له ساق واحدة تحمل اوراقا كبيرةيستمر الساق فى النمو الى اعلى حاملا الاغصان الزهرية، وعندما تبدأ النباتات بالتزهير تزال الاجزاء العلوية من محاورها — التى تشتمل على سيقان الازهار الصغيرة والاوراق الصغيرة جدا اما بالتكسير او بالتقطيع حيث تدعى هذه العملية بالتطويش topping وهكذا فان الغذاء الذى سيوجه لنمو الازهار ومن ثم لتكوين البذور سيكون متوفر الان للاوراق وخاصة العلوية منها فيزداد سمكها ومساحتها.

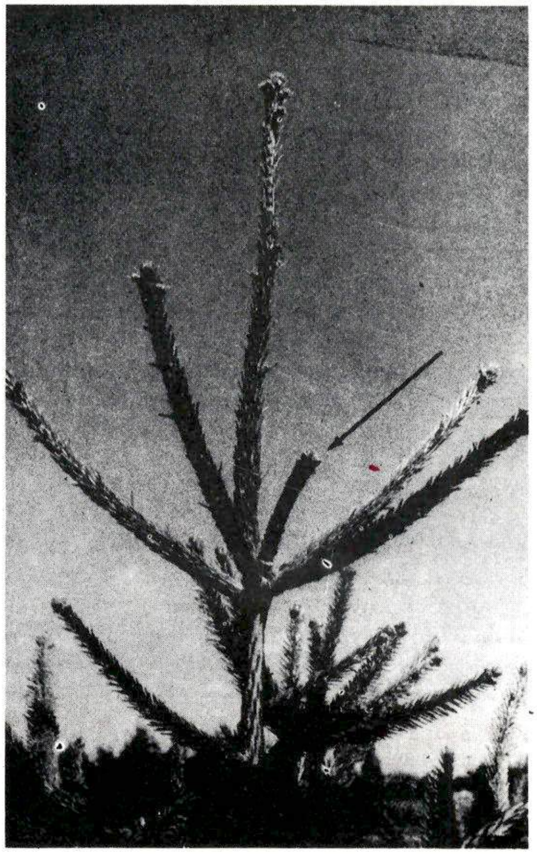
والتطويش عملية يقصد من ورائها انتزاع السيادة القمية لتمكين البراعم الجانبية من النمو وتكوين فروع جانبية الولائد suckers علما بان استمرار نمو هذه الولائد بالاضافة الى حدوث نمو جديد للبراعم الجانبية الابطية لتكوين فروع جانبية جديدة سيقضى على تأثير عملية التطويش، ولذلك يتحتم ازالة هذه الولائد باليد، ولو ان هذه العملية اليدوية مرتفعة التكاليف ويجرى الباحثون الان تجاربهم لمنع نمو هذه البراعم باستخدام المواد الكيميائية، شريطة الا يؤثر ذلك على نوعية اوراق التبغ. فلقد استخدمت لهذه الغاية مادة مثبطة للنمو تم الحصول عليها صناعيا هى hydazide ترش على اعالى النباتات وجاءت النتائج الايجابية، اذ اعاقت بدرجة كبيرة تكوين الولائد بعد عملية التطويش الا ان تبغ النباتات المعالجة بهذه المادة يتسبب فى



(شكل 2ـ9) السيادة القمية apical dominance فى درنة البطاطس potato tuber (Solanum tuberosum.

اعلى الشكل: مجموعة من البراعم النامية فمنعت نمو البراعم الجانبية.
اسفل الشكل: عند تقطيع الدرنة الى اجزاء، بحيث يحمل كل جزء برعما (عينا)، يبدأ النمو من كل برعم.

انسداد آلات التصنيع ولهذا السبب ترفضه مصانع السجائر. ويستفاد من عملية التطويش عند زراعة الاراولا garden chrysanthemums (chrysanthemum morifolium) حيث يجرى التطويش عدة مرات فى الربيع من اجل تشجيعها على تكوين اغصان جانبية وزيادة عدد ازهارها. كما يمكن ازالة الاغصان الجانبية ايضا من اجل الحصول على زهرة كبيرة واحدة. الى جانب هذه الامثلة يمكن ايضا ملاحظة السيادة القمية فى درنات البطاطس المخزونة لعدة شهور بعد جمعها. فدرنات البطاطس كما هو معلوم عبارة عن سيقان متحورة الى درنات، وان العيون الموجودة عليها ماهى الا براعم شبيهة بالبراعم الموجودة على الاغصان الخشبية. وفى حالة توفر الظروف الملائمة للنمو، ينمو البرعم الطرفى للدرنة او عدد من البراعم القريبة من القمة محدثة فى البداية نموا سريعا واحدا او مجموعة من النموات السريعة (الشكل العلوى 2 ـ 9) اما بالنسبة للبراعم الجانبية فيكون نموها بطيئا او لا تنمو اصلا. ويدل هذا على ان النمو القمى



(شكل 2ـ10) السيادة القمية فى نبات التنوب الفضى النرويجى
Norway spruce (Picea abies)
الفرع القائد (مشار اليه بسهم) اصابته الحشرات، ومن ثم حل فرع جانبى محل الرئيسى.

(الطرف) قد عجل تثبط نمو البراعم الجانبية. اما فى حالة تقطيع الدرنة الى قطع تحوى كل واحدة منها عينا كما هو مطبق عند زراعة البطاطس، فيتلاشى تأثير البراعم القمية وبذلك فان جميع الاعين فى الدرنة الواحدة سوف تنمو وتكون فروعا بنفس الحجم الذى يكونه البرعم الطرفى تقريبا (شكل 2 ـ 9 الى الاسفل).

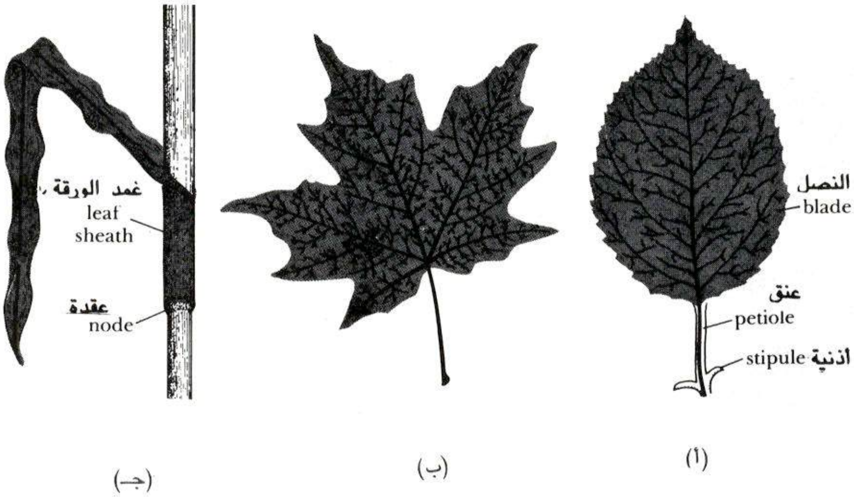
ويمكن على الاقل تفسير جانب من نمو النباتات التى هى من النوع العمودى ذات الهامة المخروطية (صادق المحور) excurrent والعمودى غير المتفرغ ، على ضوء السيادة القمية القوية ، فى حين تضعف هذه السيادة او تنعدم فى النباتات المتفرغة ذات الهامة القبية (متميع المحور) de liquescent . اما فى حالة كسر الطرف العلوى من الساق بسبب الزوابع او الاصابة بالحشرات فان واحدا او اكثر من الاغصان الجانبية سيأخذ دور الريادة فى النمو الى اعلى ليحل محل طرف الساق الرئيسى (شكل 2ـ10) ، ولا يمضى غير قليل من الوقت حين يتمكن الفرع الجديد النامى من استلام السيادة القمية ليقوم بدور الاول وعلى اتم وجه . اما فى حالة استبداله باكثر من فرع واحد فان شكل النمو الناتج يكون من النوع المتشعب forked growth ، ويؤدى هذا بدوره الى فقدان الأشجار لتناسقها وانتظامها . فلا يجوز تفسير السيادة القمية بكونها عملية ايقاف او شل لنمو البرعم التحتية للاغصان او الدرنات ولكن يظهر انها اكثر تعقيدا ، ولا يوجد الى الآن تفسير يفى بمجمل هذه الظواهر .

ان انتزاع السيادة القمية او الحد منها هو الاساس المطلوب للعديد من عمليات التقليم pruning ، لكون انتزاع الجزء الطرفى من الغصن يعمل على ايقاف نموه فى الطول لا محالة ويشجع فى نفس الوقت على النمو الكثيف بسبب تأثيره على زيادة النموات الجانبية . هذا وان المظهر الطبيعى للانسجة المتكونة فى اشجار ونباتات الزينة المتبادلة مع بعضها البعض على شكل متناسق جميل حسب الحاجة والذوق سببه عملية التقليم على ضوء تفهم مبدأ السيادة القمية .

اعضاء النبات The Plant Organs

تقودنا دراسة شكل النبات واجزائه الرئيسية الى ضرورة التعمق فى معرفة تفاصيل اجزاء النبات وبعض تحوراتها . فاجزاء النبات الاساسية كالجذر والساق تكون متحورة كثيرا فى العديد من النباتات ويساهم الكثير من هذه التحورات فى تثبيت قدرة النبات على البقاء حيا فى الظروف غير الملائمة .

عندما ينمو النبات تنشأ على مجموعه الخضرى براعم واوراق جديدة بالاضافة الى نشوء تفرعات جديدة على الجذر ، وتتحور طريقة النمو فى انواع عديدة من النباتات وذلك بنشوء اجزاء عرضية Adventitous Organs فى مناطق لا تتواجد فيها عادة ، او انها تنشأ فى غير الاوقات الاعتيادية لنشوئها . ومن بين الاجزاء العرضية نشوء الجذور على الساق او نشوء



(شكل 2ـ11) الاوراق البسيطة

(أ) التعرق الشبكى لورقة التفاح
pinnately veined leaf of apple
(Pyrus malus)

(ب) التعرق الكفى لورقة نبات القيقب السكرى
palmately veined leaf of
sugar maple (Acer saccharum)

(جـ) التعرق المتوازى لورقة الذرة، تمتد الورقة الى الاسفل على شكل غمد للساق

السيقان على الجذور . ويمكن لهذه الجذور والسيقان العرضية ان تنمو خلال فترة نمو النبات الطبيعية او نتيجة لبعض الخدوش او بسبب بعض المحفزات الاخرى . ويمكن لهذه النموات العرضية ان تكون مفيدة للنبات حيث تساعد فى عملية تكاثره . بالاضافة الى الفائدة التى تجنيها نتيجة حدوث زيادة كبيرة لنباتات الغذاء والزينة .

الورقة : The Leaf

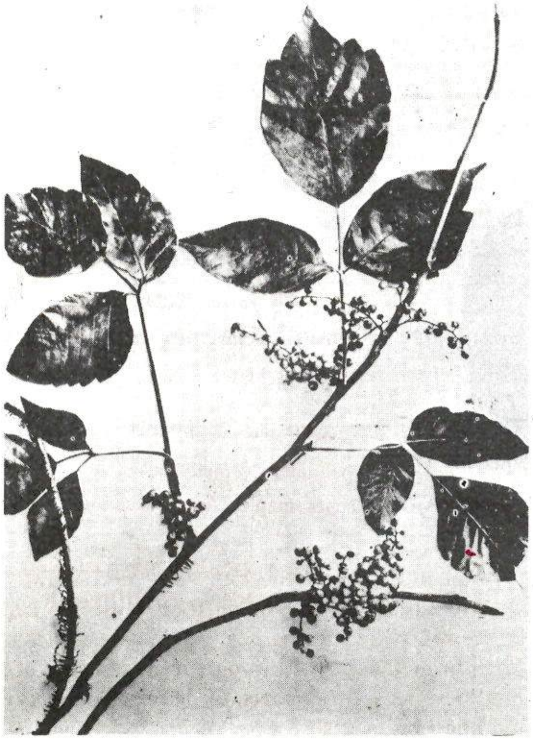
يمكن اعتبار ان الورقة هى امتداد مفلطح للساق ، وتحتوى الورقة على العديد من انواع الخلايا والانسجة الموجودة فى الساق ، ومع ذلك تكتسب صفة مختلفة عنه . فبينما يتبع الساق خطة النمو غير المحدود وتستمر فى ذلك طول حياته ، يكون نمو الورقة محدودا حيث تنمو بسرعة ثم تنضج وتقوم بوظيفتها لفصل واحد او عدة فصول ثم تسقط .

والورقة النمطية تتألف من جزءين رئيسيين هما : الجزء المسطح والعريض الذى يدعى بالنصل Blade ، ثم الجزء الذى يدعى بالسويق Stalk او العنق Petiole (كما فى الاشكال 2ـ1 و 2ـ11 أ) وتدعى الورقة بالجالسة Sessile عن غياب عنقها . كما توجد الاذينات stipules احيانا عند قاعدة العنق وهى تراكيب اما على شكل اوراق او حراشف ، وفى بعض الاحيان توجد الاذينات فى قاعدة العنق حيث تعتبر جزءا مكملا للورقة والاذينات تكون صغيرة عادة ولكنها فى بعض* النباتات كالفاصوليا garden bean تكون كبيرة ، اذ تضاف الى الورقة كاعضاء للبناء الضوئى انظر شكل (2ـ15 أ). كما تسقط بعض الاذينات بعد ان يزداد حجم الاوراق ، فى حين تبقى اذينات اخرى طوال فصل النمو .

وتظهر العروق Veins على الجهة السفلى لنصل الورقة ، وكثيرا ما تظهر على السطح العلوى ايضا على شكل خطوط او حواجز ، وتتألف العروق من خلايا تقوم بعملية توصيل الغذاء والماء ، وتساعد ايضا لحد ما فى الدعم . والتعرق Venation او نظام ترتيب العروق يأتى من حيث الشكل فى مجموعتين رئيسيتين . فنظام التعرق فى ذوات الفلقة الواحدة كالسوسن والنخيل والزنابق Lilies والذرة وبعض النجيليات الاخرى يكون متوازيا او مقاربا له ، ويدعى هذا النظام بالتعرق المتوازى Parallel Venation (شكل 2ـ11 جـ).

اما التعرق فى ذوات الفلقتين كالقيقب والجيرانيم والتفاح والبلوط وعباد الشمس فهو من النوع الشبكى ، ويقال عن اوراق هذه الانواع ان تعرقها شبكى Net Venation .. وتملك بعض الانواع من الاوراق ذات التعرق الشبكى عرقا رئيسيا قويا يمتد بطول الورقة وتوجد على جانبيه عروق جانبية تشبه فى ذلك ريش الطيور (شكل : 2ـ11 أ). ويدعى مثل هذا النوع بالتعرق الريشى Pinnately Veined . كما توجد انواع اخرى من الاوراق لها اكثر من عرق رئيسى واحد تشبه فى ذلك وضع الاصابع فى كف الانسان ، ويدعى هذا النوع بالتعرق الكفى Palmately Veined (شكل 2ـ11ب).

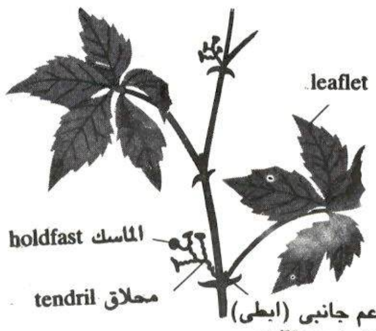
الأوراق البسيطة والأوراق المركبة : Simple and Compound Leaves يمكن تصنيف الاوراق الى بسيطة ومركبة . فالورقة البسيطة (شكل : 2ـ11) هى التى لايكون نصلها مقسما ، بينما يمكن لحافتها ان تكون مفصصة باشكال مختلفة . اما النصل فى الاوراق المركبة فهو مقسم الى عدة اقسام ويدعى كل قسم بالوريقة Leaflet . وتنقسم الاوراق المركبة الى نوعين : الاوراق المركبة الكفية Palmately Compound Leaf وتتشابك وريقاتها كلها عند نهاية عنق الورقة كما هو الحال فى نبات قسطل الحصان Horse Chestnut ونبات العليق السام Poison Ivy (شكل . 2ـ12) والنفل الاحمر Red Clover والترمس Lupine



(شكل 2ـ12) (Rhus radicans)
نبات العليق السام poison ivy الاوراق المركبة والثمار ينتشر هذا النبات فى شمال امريكا.



(ب)

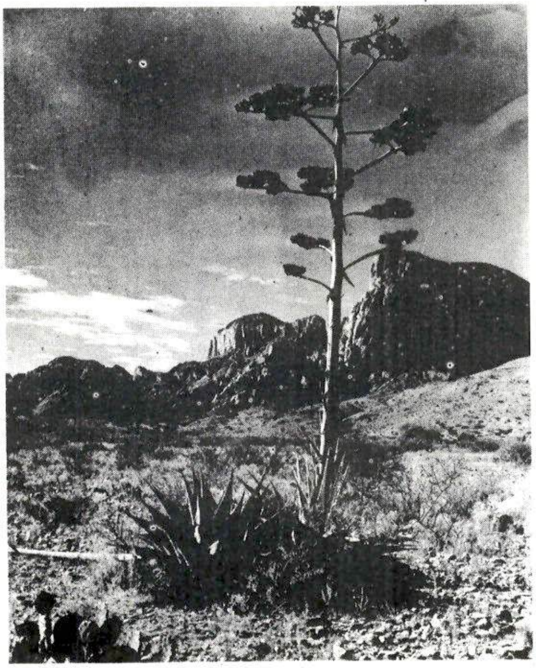


(أ)

(شكل 2ـ13) الاوراق المركبة compound leaves
(أ) الاوراق المركبة الكفية (نبات الفرجينا المتسلق Virginia creeper
(ب) ورقة مركبة ريشية نبات المران ash (Fraxinus americana).

ونبهـــات الفرجينــيا المتســلق Virĝinia Creepe السمريشـــية (شكل 2ـ 13 أ)، والاوراق المركـــبة Pinnately Compound Leaves ترتبـــط وريقاتها على جانبى عنق الورقة كالنظام الموجود فى ريش الطيور كما فى اوراق شجر المران (شكل 2ـ13 ب) والبطاطس وشجرة الفردوس Tree of Heaven (Alianthus) والجوز Walnut (Juglans) ونباتات خشبية وعشبية اخرى .

كما ان الورقة المركبة والبسيطة تتشابهان فى الوظيفة وقد يصعب احيانا التمييز بين الوريقات والورقة البسيطة . ولكن تسهل عملية التمييز هذه فى النباتات الخشبية عن طريق ملاحظة مواقع البراعم الشتوية . ويكون التمييز فى النباتات العشبية عن طريق ملاحظة مواقع البراعم او الافرع ، اذ ان البراعم او الافرع توجد فى آباط الاوراق البسيطة والمركبة ولا توجد اصلا فى آباط الوريقات .



(شكل 2ـ14) نبات القرن century plant (Agave americana) فى تكساس.

تحورات الورقة : *Leaf modifications*

تتحور اوراق العديد من النباتات تحورا كبيرا اثناء مراحل تطور الورقة . وتزيد هذه التحورات احيانا من استفادة الانسان من النبات . فمن امثلة محاسن هذه التحورات تغلظ اعناق اوراق الراوند Rhubarb والكرفس وكذلك الاوراق اللحمية للكرنب Cabbage وكذلك البصل . وتجف الاجزاء العليا من اوراق البصل الانبوبية فى نهاية فصل النمو الاول ، فى حين تشكل الاجزاء القاعدية منها والتى هى على شكل طبقات مركزية رأس البصلة . وهذه الطبقات هى اوراق حرشفية غنية بالسكر المتجمع فى خلاياها لذا تمكن النبات من تكوين الاوراق والازهار اذا ما زرعت رؤوس البصل فى الموسم الثانى . كما تقوم الاوراق المتحورة للبصلات فى العديد من النباتات كالياقوتية (المكحلة) Hyacinth والزنبق والنرجس Narcissus بتجميع الغذاء الزائد داخل خلاياها .

كما توجد ايضا اوراق متغلظة ولحمية يتجمع فيها الماء خاصة نباتات المناطق القاحلة وشبه القاحلة . ويزرع العديد من هذه النباتات فى الحدائق الصخرية والبيوت الزجاجية كنباتات زينة ، وهى من صنف النباتات العصارية Succulents . وتشمل النباتات العصارية ايضا تلك التى يتجمع الماء فى سيقانها المتحورة بدلا من الاوراق . وكمثال على الأوراق العصارية نبات القرن Century Plant (شكل 2ـ14) وعشبة الجليد Cryophytum والسيدوم Sedum .

المحاليق؛ Tendrils المحاليق عموما عبارة عن اوراق متحورة تقوم بتثبيت النبات على المساند . ويمكن لعنق الورقة او الورقة نفسها او احدى وريقات الورقة المركبة او حتى الاذنيات ان تتحور الى محاليق (شكل 2ـ15) واجزاء الورقة التى تتحول الى محاليق تصبح طويلة ونحيفة ، لذا تقل كمية الغذاء المتكون فيها او تنعدم تماماً . ويمكن مشاهدة المحاليق فى المتسلقات Vines والبازلاء Pea والبيقة Vetch وياسمين البر Clematis والسمايلكس Greenbrier (Smilax) . ومع ان اغلب المحاليق ما هى الا اوراق او اجزاء من اوراق متحورة فان بعضا منها تكون اغصانا متحورة .

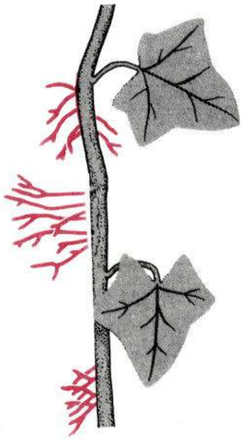


(شكل 2ـ15) المحاليق Tendrills
(أ) وريقات متحورة الى محاليق نبات البازلاء الخضراء garden pea (Pisum sativum).
(ب) يقوم عنق الورقة بدور المحلاق نبات ياسمين البر clematis (Clematis virginiana).
(جـ) أذنيات تحورت الى محاليق نبات السمايلكس greenbriar (Smilax rotundifolia) وهى من الناحية التركيبية تعتبر اجزاء من العنق، اذ تنقسم قرب قاعدتها الى قسمين كل منها على جانب من الورقة، وذلك فى مرحلة مبكرة من نمو المنطقة العنقية للورقة.

الاشواك: عبارة عن اوراق فقدت لونها الاخضر وتفلطحها واصبحت نحيفة ومخروطية وصلبة . ويمكن تشخيصها كاوراق متحورة عن طريق ملاحظة موقعها فى اسفل البرعم الابطى او الفرع بقليل . وحتى الاذنيات يمكن ان تتحور الى اشواك كما فى نبات السنط الكاذب Black Locust (Robinia Pseudo - acacia) وتوجد الاشواك فى البربارس Barberry (شكل : 2ـ16) والكشمش Gooseberries والصبار Cacti وغالبا ما يستخدم اصطلاح الاشواك تعريبا لمصطلحى (Spine) و (Thorn) بدون تفريق بينهما . ولكن يخصص من الناحية التطبيقية مصطلح (Thorns) للاشواك الناتجة عن تحور الاغصان وهى عادة تنشأ فى ابط الورقة او اعلى قليلا منه . وتوجد هذه الاشواك Thorns فى السنط العسلى Honey Locust والنارنج Osage Orange و Hawthorn وهناك تراكيب شبيهة بالاشواك موجودة فى



(شكل 2ـ16) الشوكة Spine (ورقة متحورة ـ نبات البربريس اليابانى
Japanese barberry (Berberis thunbergii)



(شكل 2ـ17) الجذور العرضية الهوائية لنبات حبل المساكين
English ivy (Hedera helix)

الورد Rose والعليق Blackberry تعرف بـ (Prickles) وهى نموات من الانسجة الخارجية للساق ومع انها لا تختلف فى وخزها لمن يمسك بالنبات عن اشواك الاوراق او الاغصان المتحورة فانها متميزة نباتيا عن النوعين السابقين .

بعض تحورات الساق : *Some stem modifications*

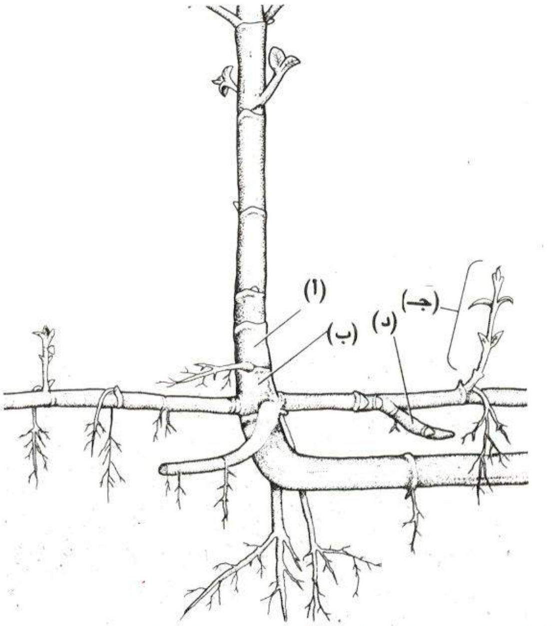
السيقان المتسلقة : Climbing Stems

تشمل النباتات المتسلقة اشكالا متنوعة كالمتسلقات الكبيرة Great Lianas او المتسلقات التى تنمو فى الغابات الاستوائية الممطرة كذلك الاعناب البرية Wild Grapes التى توجد على ضفاف الانهر ثم الفاصوليا القائمة Pole bean ونجمة الصباح Morning glory التى تنمو فى الحدائق . ان البعض من انواع هذه النباتات تتسلق او تستند على بعض النباتات والاسيجة او الصخور ، فى حين ان انواعا اخرى تتسلق بمساعدة التفافها حول الدعامات او بمساعدة تحورات خاصة كالمحاليق . ففى اللبلاب Boston ivy والفرجينا المتسلق Virginia creeper تكون نهايات المحاليق وهى اغصان متحورة ، على شكل اقراص تدعى بالماسكات Holdfasts كما فى (شكل 2ـ13 أ) وغالبا ما توجد الجذور العرضية على السيقان المتسلقة حيث تساعد هى ايضا فى تثبيت السيقان عند تسلقها الجدران والاشجار كما فى (شكل 2ـ17).

الافرع الافقية : Prostrate Branches

هناك العديد من اصناف النباتات ذات السيقان العمودية تكون افرعا افقية على العقد القريبة من قاعدة الساق ، وغالبا ما تكون هذه الفروع نحيفة . وتدعى مثل هذه التراكيب اما بالسيقان الجارية Runners او السيقان الممتدة Stolons ، وهى تنمو اما على سطح التربة او تحته وهى سيقان ضعيفة نحيفة تتجذر عند نموها ، كما تكون فسائل فى نفس الوقت يمكن الاستفادة منها كثيرا فى التكاثر الخضرى Vegetative Growth . ويقصد بالسيقان الجارية تلك الافرع الهوائية النامية فوق سطح التربة (انظر الشكل 11ـ1) ، فى حين ان السيقان الممتدة تشمل الفروع الافقية النامية تحت سطح التربة (شكل 2ـ18). وسوف نتقيد فى وصفنا اللاحق بهذا التصنيف . هذا وتوجد العقد والسلاميات على كل من

السيقان الجارية والممتدة بالاضافة الى وجود جذور عرضية Adventitious root . وفى بعض الاحيان تتكون البراعم على العقد ، كما تتكون الاوراق ايضا ولكنها تكون صغيرة وحرشفية الشكل فى الغالب . وتجمع بعض النباتات كلا من السيقان الجارية والممتدة فى آن واحد . واغلب الاعشاب البرية الوفيرة النمو تتكاثر خضريا بواسطة السيقان الممتدة فقط . ونبات النعناع (Mentha Spicata) Spearmint خير مثال للتكاثر الخضرى بواسطة السيقان الممتدة (شكل 2ـ18). ويمكن لطرف الساق الممتد ان ينحنى الى الاعلى ويظهر فوق سطح التربة كنبات ورقى . والسيقان الممتدة التى تنشأ من عقد على قاعدة الساق موجودة تحت سطح التربة ، يمكن ان تنتشر خلال التربة باعطائها فسائل الى الاعلى او ان تواصل زحفها تحت سطح التربة . ويعطى طرف الساق الممتد لا محالة فرعا ورقيا ينمو فوق سطح التربة .



(شكل 2ـ18) السيقان الممتدة فى نبات النعناع spearmint (Mentha spicata)
(أ) طرف الساق الممتد نمى الى أعلى وكون غصنا ورقيا هوائيا.
(ب) نمت السيقان الممتدة من عقدة تحت سطح التربة.
(جـ) الفروع الجانبية للسيقان الممتدة تنمو الى الاعلى.
(د) تنمو اطراف الفروع الجانبية فى التربة. ربما يتسبب هذا الطرف فى ظهور نموات ورقية.



(شكل 2ـ19) السيقان العصارية Stem succulents الساق المتحور يجمع الماء ويصنع الغذاء.
(على اليسار) نبات الغلف carrion flower (Stapelia) من العائلة اللبنية milkweed.
(على اليمين) نبات الصبار cactus (Neomammillaria).

السيقان العصارية : Stem Succulent

تكون سيقان العديد من النباتات خضراء شأنها شأن الاوراق ، وتملك القدرة على تصنيع الغذاء . وتقتصر عملية صنع الغذاء فى عدد لا يستهان به من النباتات على الساق فقط او يكون للساق نصيب الاسد فى هذه العملية . ومرجع ذلك هو قلة عدد الاوراق او غيابها كليا . وتتجمع كميات كبيرة من الماء فى السيقان العصارية والسيقان اللحمية . وكمثال على السيقان العصارية حشيشة اللبن Milk Weed والصبار Cactus وعوائل السبيورج Spurge Families (شكل : 2ـ19) وتتمكن سيقان واوراق هذه النباتات من ان تعيش فترة طويلة من الوقت بدون اى مصدر خارجى للماء . ولقد ذكر ان نبات الصبار الضخم Giant Saguaro (Carnegiea Gigantea) الشبيه بالشجرة والموجود حاليا فى الجنوب الغربى من صحراء الولايات المتحدة وفى شمال المكسيك يختزن فى ساقه كميات من الماء تكفيه لعدة سنوات (شكل : 2ـ20).

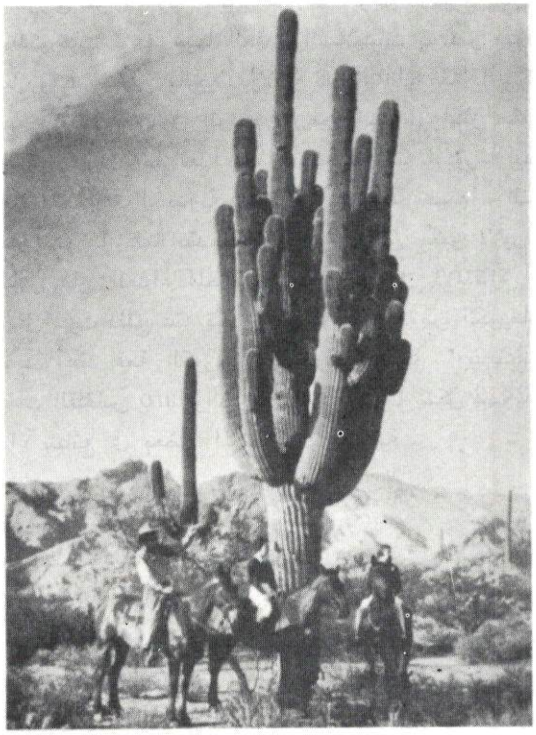
السيقان الترابية : *Subterranean stems*

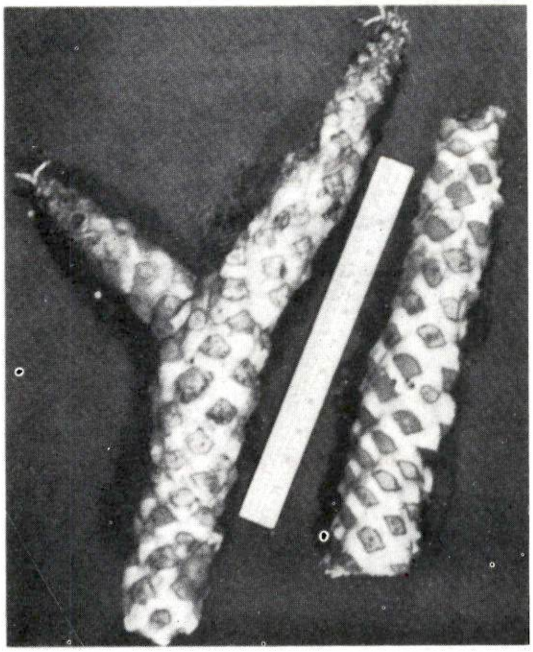
فى العديد من النباتات سواء البرية منها او المزروعة تتكون الاجزاء او الفروع الهوائية من سيقان نامية تحت سطح التربة وتتميز مثل هذه السيقان بانها مناطق تكوين الغذاء فى النبات ويستغل الانسان او الحيوان بعضها كمصادر غذائية هامة . ويمكن تقسيم السيقان الترابية الى عدة انواع ، يتخصص كل منها بوظيفة معينة

الريزومات : Rhizomes

وهى عبارة عن سيقان معمرة ، تتخذ الوضع الافقى عادة . ويعرف الريزوم بكونه المحور الرئيسى للساق ، تكون عقده متقاربة نسبيا ، وغنية بالغذاء المتجمع على هيئة نشاء (شكل 2ـ21) والسيقان الممتدة هى سيقان ترابية ايضا ،

(شكل 2ـ20)
نبات الصبار العملاق (سجارو) giant cactus or saguaro (Carnegiea gigantea) فى ولاية اريزونا



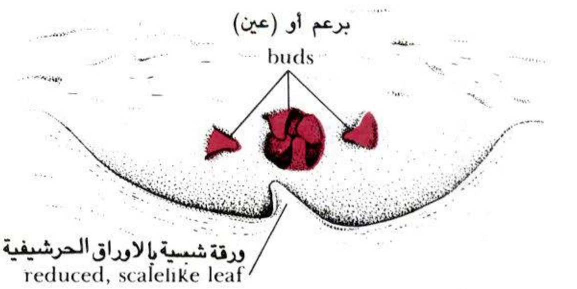


(شكل 2ـ21) الريزومات اللحميه الكبيرة لنبات الزنبق الاصفر cow or yellow pond lily (Nuphar variegatum)
وتحوى هذه الريزومات نسبة عالية من النشا وتستخدم كطعام من قبل الهنود الحمر.

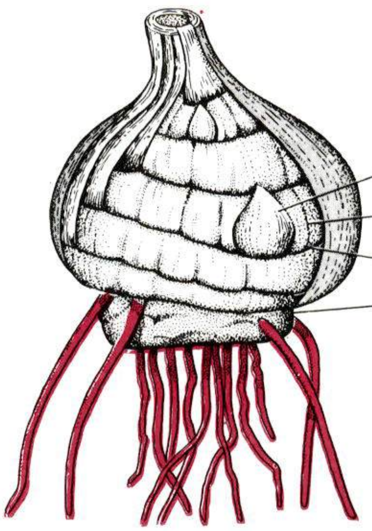
وهى كما سبق ان ذكرنا تفرعات ضعيفة تنشأ فى العقد الموجودة عند قاعدة الساق . ويتسبب وجود الريزومات والسيقان الممتدة تحت سطح التربة فى بعض اللبس مع الجذور . الا ان الجذور تخلو تماما من العقد والسلاميات وتنشأ الاوراق الخضراء على عقد بعض من انواع الريزومات مثل ماهو واضح فى (شكل 2ـ21). ولكن الشىء الاعتيادى ان الاوراق الهوائية تنشأ على الفروع الورقية الناتجة من نمو البراعم الجانبية او البراعم الطرفية (شكل 2ـ11). وكمثال على النباتات الحاوية للريزومات نبات عود الوج (قصب الذريرة) (sweet Flag (Acorus وكذلك عشبة البرك (cattail (Typha والسوسن والكنا cana والذركيرات والزنابق المائية water lilies .

الدرنات : Tubers

تمثل الدرنة الجزء المتسع والمنتفخ من الفرع الممتد تحت سطح التربة الناتج عن المحور العمودى للنبات . وان اكثر



(شكل 2ـ22) برعم او (عين) لدرنة البطاطس (بتكبير عال)



(شكل 2ـ23) كورمة الجلاد يولس corm of gladiolus،

الامثلة شيوعا درنة البطاطس التى هى عبارة عن توسع يحدث فى نهاية الفرع الممتدة انظر شكل (11ـ12). وتترك منطقة اتصال الساق الممتد بالدرنة اثرا على شكل ندبة موجودة على سطح الدرنة . بينما ينتشر على سطح الدرنة مايسمى بالعيون . وتتألف العين الواحدة كما هو موضح فى شكل (2ـ22) من نتؤ يحمل ورقة شبيهة بالاوراق الحرشفية ، ويوجد فى ابط هذه الورقة عدد من البراعم الصغيرة (عادة تكون ثلاثة). وبما ان الدرنة ماهى الا ساق متحورة فان الورقة الحرشفية هذه مع براعمها الابطية تتشابه الى حد كبير مع ورقة الغصن الخشبى وبرعمها الابطى . وان العين هى علامة لموقع العقدة وان جزء الدرنة الواقع بين عينين متتاليتين يمثل السلامية .

الكورمات : Corms

الكورمة هى ساق ترابية قصيرة ومثختة ولحمية توجد تحت سطح التربة . وتنمو هذه الساق عادة بشكل عمودى ، كما يمكن ان تنمو بشكل افقى بحيث عرضها اكثر من طولها ، وكمثال على الكورمات الجلاديولاس gladiolus والزعفران crocus وبخور مريم cyclamen والغريزية Freesia ودرنات البجونيا tuberous begonia هناك ايضا بعض الانواع من الكورمات لاتظهر فيها العقد ومثل هذه الكورمات تعيش من سنة لاخرى مكونة مجموعة خضرية على نحو دورى طوال فترة حياة الكورمة . وهناك انواع اخرى من الكورمات توجد فيها العقد والسلاميات يستمر نموها لفصل واحد فقط . فالجلاديولاس gladiolus مثلا (شكل 2ـ23) يبدأ نموه فى الربيع ببرعم واحد او اكثر مكونا اوراقا وازهارا ، اما الغذاء الذى تحصل عليه الكورمة لبدء تكوين المجموعة الخضرية فيأتى من الكورمة نفسها ، التى تضمر بدورها كلما تقدم النمو . وبعد ان تكبر الاوراق وتتكامل فان الغذاء المصنوع فيها يبدأ فى الانتقال الى الاسفل حيث ينتج عنه تكوين كورمة او عدد من الكورمات الجديدة عند قمة الكورمة الضامرة القديمة . وتستخدم كورمات القلقاس taro والداشين dasheen (شكل 2ـ24) كغذاء شائع فى بعض المناطق الاستوائية .

البصلات : Bulbs

البصلة عبارة عن ساق قصيرة جدارها مطوق باوراق لحمية حرشفية سميكة ومتحورة ، وهذه الاوراق الحرشفية تشكل الجانب الرئسى للغذاء المخزون . ويقال عن بصلات البصل

Onion والياقوتية Hyacinth أنها بصلات مركبة Layered (شكل 2ـ25 أ) ، لان الحراشف تكون على شكل سلسلة متعاقبة من الحلقات يمكن ملاحظتها عند عمل مقطع عرضى لها . والبصلات فى أغلب أنواع الزنابق Lilies تكون حرشفية Scaly . وهى لاتطوق الساق بشكل محكم كما فى البصل بل تكون صغيرة ولحمية ومتخلخلة نوعا ما فى منطقة اتصالها مع الساق (شكل 2ـ25 ب)

الجذر : The Root

ينشأ نظامُ الجذر الابتدائى للنبات من الطرف السفلى (الجذير Radicle) للجنين خلال عملية انبات البذرة . وينمو الجذر الابتدائى متجها إلى الأسفل داخل التربة حيث يكون بعد وقت قصير جذورا جانبية . وفى حالة مواصلة نموه واستمرار هيمنته فانه يكون نظاما جذريا رئيسيا للنبات يطلق عليه بالجذر الرئيسى Tap Root (شكل : 2 ـ 26 أ) ، وهذا النوع من الجذور هو الشائع فى العديد من النباتات العشبية كالهندباء البرية Dandelion والجزر والبرسيم الحجازى Alfalfa . بالاضافة إلى أن عددا من أشجار الغابات كالبلوط والقارية Hickory والمخروطيات Conifers تملك مثل هذا النظام الجذرى فى فتوتها على اقل تقدير .

أما فى الأنواع الأخرى التى تشمل عددا من النباتات العشبية المعمرة وخاصة النجيليات منها فإن نمو الجذر الابتدائى سرعان مايتساوى مع فروعه ، حتى ان الفروع تتجاوزه حيث يتكون مايدعى بالجذور الليفية Fibrous Roots (شكل 2 ـ 26 ب) وهناك عدد من النباتات تكون جذورا عرضية بالاضافة الى النظام الجذرى الابتدائى الذى ينشأ من الجنين . ان جميع الجذور التى تنشأ على الاجزاء الهوائية للساق ومن السيقان الممتدة ومن الريزومات والكورمات ومن اقسام النباتات المقطوعة لغرض التكاثر هى أمثلة على الجذور .

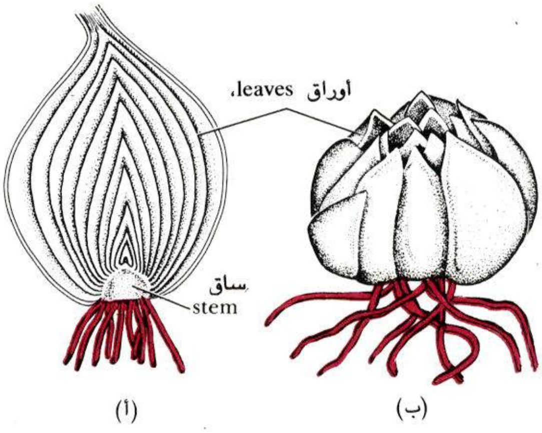
الجذور الخازنة *Storage roots*

كثيرا ما تكون جذور النباتات ذات الحولين والمعمرة غنية بمواد غذائية مخزونة . إن مثل هذه الجذور وخاصة فى الاصناف المزروعة تصبح اكثر تضخما . فالجذر الرئيسى فى



شكل (2ـ24) كورمة نبات التارو taro (Colocasia esculenta) (فى بعض جزر المحيط الهادى).

(شكل 2ـ25) البصلات bulbs
(أ) قطاع فى بصلة مؤلفة من طبقات (نبات البصل Onion
(ب) بصلة حرشفية (نبات الزنبق lily (Lilium tigrinum





(شكل 2ـ26) الجذور roots

(أ) الجذر الوتدى (الرئيسى) لنبات الهندباء البرى dandelion.
(ب) الجذور الليفية لاحد النباتات النجيلة.

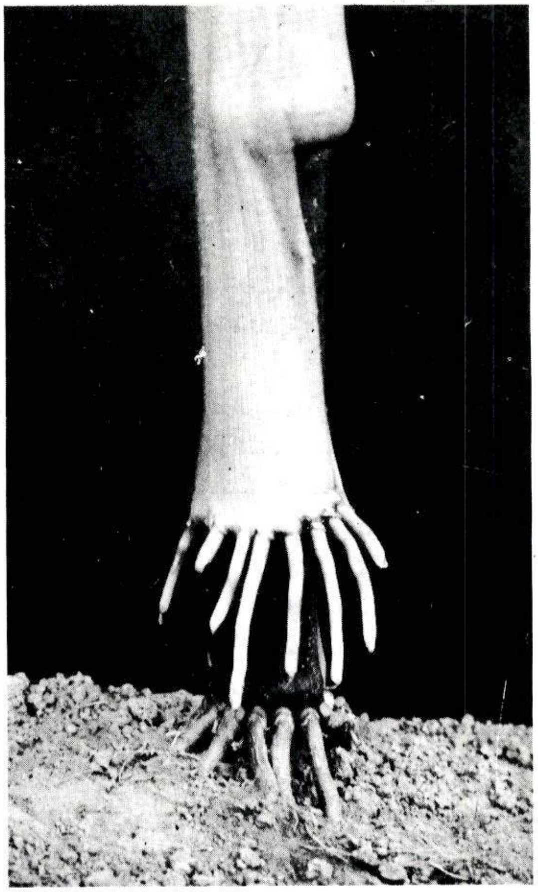


(شكل 2ـ27) البطاطا الحلوة عند قلعها.

اللفت والبنجر Beet والفجل والجزر الابيض Parsnip والجزر يصبح جذرا لحميا خلال عملية النمو . كما ان الجزء المتضخم فى بعض هذه النباتات يكون مشتركا بين الجذر والساق ، حيث إن جزءا منه ينشأ فى منطقة الساق للبادرة Seedling ، والجزء الآخر فى منطقة الجذر . ولذلك يصعب تحديد أى من هذين العضوين هو المختص بعملية تجميع الغذاء ففى الجزر مثلا يكون الجزء الاعلى منه بطول بوصة تقريبا مشتقا من ساق البادرة ، فى حين أن البقية الباقية هى من نسيج جذرى . أما فى الداليا Dahlia والبطاطا الحلوة Sweet Potato فان تفرعات الجذور هى التى تصبح منتفخة وتقوم بوظيفة تخزين الغذاء (شكل : 2 ـ 27) .

الجذور الهوائية : *Aerial roots*

ان العديد من انواع النباتات التى تعيش فى المناطق الحارة والإستوائية تنتج جذورا هوائية على سيقانها فوق سطح التربة . وتصبح مثل هذه الجذور العرضية مفيدة للنبات من عدة جوانب . فبعض النباتات مثلا تكون جذورا هوائية متخنة لحد ما وذلك من اجل امتصاص الماء وتخزين ماء الندى والمطر غالبا . وتكتسب اللون الاخضر جذور نباتات العائلة السحلبية Malayan Orchids التى توجد على قلف الاشجار حيث يكون طول الساق 25 مم أو أكثر بقليل والاوراق حرشفية بنية متخصرة ، ولذلك فهى العضو الوحيد فى النبات المسئول عن عملية البناء الضوئى . وهناك ايضا من الجذور الهوائية مايساعد فى تثبيت بعض النباتات المتسلقة على المساند أو على سيقان النباتات كما هو موجود فى العليق السام Poison ivy وحبل المساكين English ivy (انظر شكل 2 ـ 17) ، وكذلك متسلقات ترومبيت Trumpet Vine (Campsis Radicans) . ولبعض النباتات جذور مساعدة Prop Roots تساهم فى تدعيم النبات مع الجذور الاصلية التى تنمو تحت سطح التربة ، وهذه الجذور تتفرع بغزارة وتقوم بامتصاص الماء والاملاح المعدنية . واكثر الأمثلة شيوعا على هذا النوع



(شكل 2ـ28) الجذور المساعدة (نبات الذرة)
corn



(شكل 2ـ29) الجذور المساعدة (العمودية) نبات التين البنغالى
banyan (Ficus bengalensis)

من الجذور هى الجذور المساعدة الموجودة فى الـذرة التى تنشأ من عـدة عقد عـلى الساق عنـد قاعـدته (شكـل 2 ـ 28) . أما الجـذور المساعـدة ذات الحجم البـارز فيمكن مـلاحظتهـا فى الاشجـار الاستوائيـة كأشجـار بعض أنواع النخيـل والتـين الهنـدى mangroves والتين البنغـالى banyan والأشجار فى عائلة التين Fig Family . فالجـذور العرضيـة للتين البنغـالى تنمو من مناطق على اجزاء ترتفع عن سطح التربة بعدة اقدام حتى تصل الى سطح التربة (شكل 2 ـ 29) ويزداد نموها قطريا ايضا حتى انها تظهر كأنها سيقان اضافية للنبات تساهم فى عمليات الدعم مع الجذع الرئيسى الكبير ايضا . اما التين الهندى الذى ينمو على شواطىء المحيطات وضفاف الانهار فيكون جذورا مساعدة شبيهة بالارجل الخشبية التى تنشأ من الجذع الرئيسى ومن فروعه ، وهذه الجذور يمكن ان تكون على شكل ادغال من الصعوبة النفاذ من خلالها (شكل 2 ـ 30) .

الخلاصة : Summary

1 ـ يتكون جسم النبات الوعائى من الجـذر وهو الجـزء الهابط ومن المجمـوع الخضرى او الهـوائى ويتـألف الاخـير من الساق والاوراق .

2 ـ يمكن التعرف على طورين يحدد ان نمو النباتـات المزهـرة : طور النمو الخضرى وطور التكاثر الجنسى . وتمر الحوليات بكلا الطورين فى فصل واحد . أما النباتـات ذات الحولـين فتقطع الطورين فى فصلين متعاقبين ، فى حين أن النبـاتات المعمرة يقع فيها طور التكـاثر الجنسى سنـويا فى العـادة . وتكون النباتات المعمرة إما خشبية أو عشبية اعتمادا عـلى مدة حياة المجموع الخضرى ، إذ يموت المجموع الخضرى للنباتات العشبية المعمرة ويتجدد سنويا ، علما بان النبات



(شكل 2ـ30) حافة مستنقع (نبات التين الهندى او الشورى mangrove) جذور عرضية مساعدة تعلو سطح الارض وتنمو من الاغصان الى الاسفل.

يحافظ على وجوده بواسطة أجزائه الموجودة تحت سطح الارض . يمكن التعرف فى الأشجار على ثلاثة أنماط للنمو : احادية المحور (مخروطية) ، ومتميعة المحور وعمودية .

3 ـ يعتبر الغصن هو النمو الجارى فى فصل نمو واحد وذلك بالنسبة للنباتات الخشبية . ويحمل الغصن اوراقا وبراعم . تنمو الأوراق على الاغصان فقط ، ويحمل الغصن مجموعة واحدة من الأوراق ـ فى المعتاد .

4 ـ تصنف البراعم الى براعم ورقية ومختلطة وزهرية وتولد هذه البراعم إما جانبيا أو طرفيا . وتوجد البراعم الجانبية عند آباط الأوراق . وبعد ان تسقط الورقة يمكن مشاهدة البرعم فوق ندبة الورقة مباشرة .

5 ـ يتكون البرعم الورقى السابت (الساكن) من ثلاثة اقسام : القمة النامية ، والأوراق الجنينية وحراشف البرعم ، ويكون مثل هذا البرعم بمثابة غصن جنينى وذلك لتوفر كل مقومات القدرة على انتاج كل تركيبات الغصن فيه .

6 ـ النباتات قادرة على النمو لفترة محدودة اذ تنتج فيها الانسجة الجديدة أثناء كل موسم للنمو طالما عاش النبات .

7 ـ تلعب الهرمونات دورا هاما فى التحكم بنمو النبات . وماظاهرة سيادة القمة النامية إلا دليل واضح على التحكم الهرمونى .

8 ـ يمكن لاعضاء النباتات الرئيسية أن تتحور وتتطور باشكال عديدة وربما تعود هذه التحورات بفائدة على النبات وكثيرا ماتعود بالفائدة على الانسان أيضا .

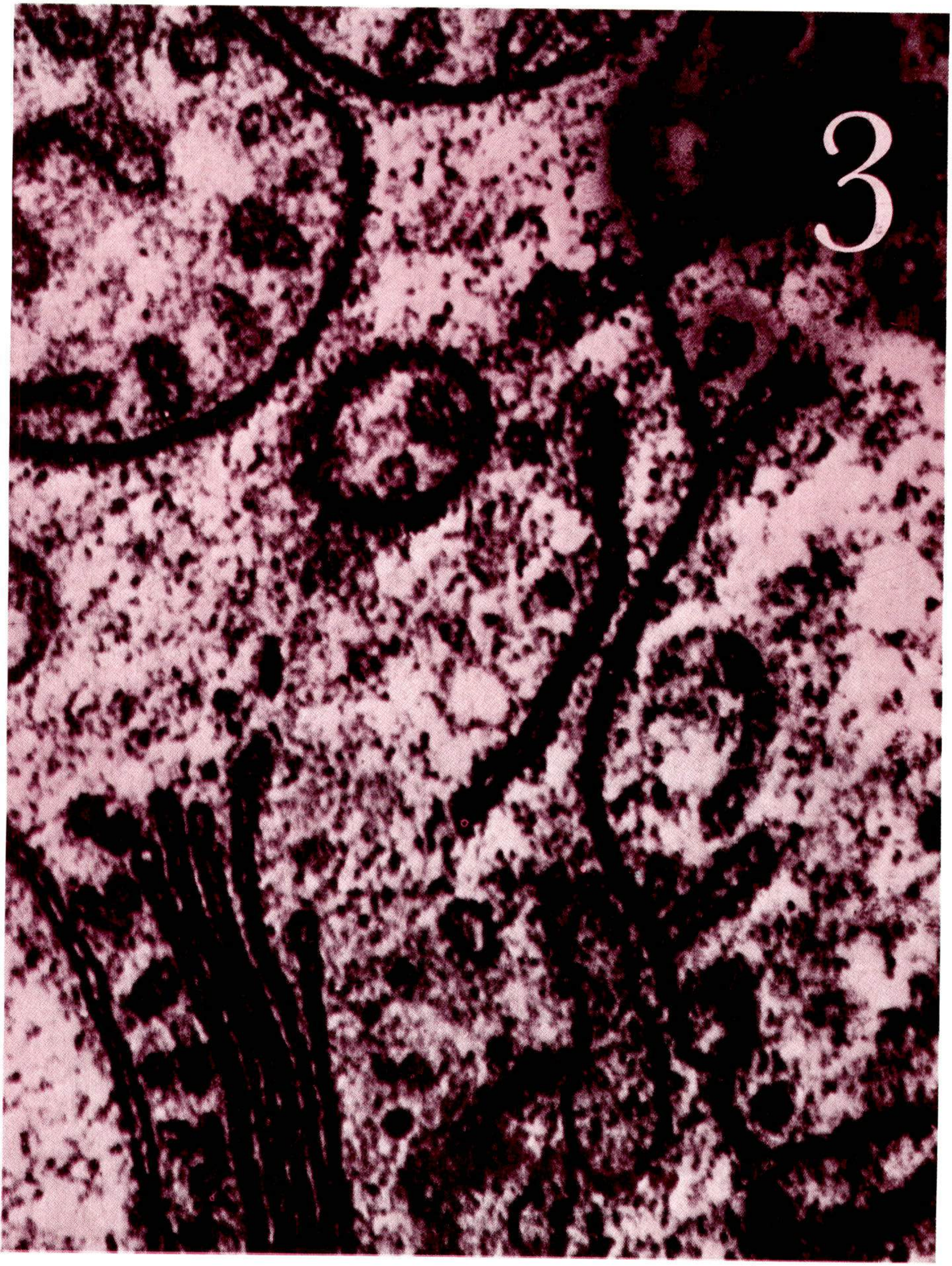
9 ـ يتمتع جسم النبات بلدونة عالية ، وتستطيع أعضاء جسم النبات أن تنتج اعضاء اخرى تتخذ مواضع غير عادية ، ليس اثناء نموها فحسب بل وبعد البلوغ أيضا . وتسمى هذه الاعضاء بالاعضاء العرضية .

10 ـ تتكون ورقة النبات من الاقسام التالية : عنق الورقة (السويق) ، النصل ، والاذينات (الزوائد) ، وتكون الأوراق إما بسيطة أو مركبة ويختلف تعرق الأوراق فى المجموعتين الزهريتين الكبيرتين . نباتات الفلقة الواحدة، وذات الفلقتين ، وربما تتطور الأوراق فى نباتات بعينها وتتحور كثيرا بما يسمح لها باختزان الماء أو الغذاء فيها . وربما تحورت الاوراق أو الأجزاء الورقية ايضا الى محاليق أو أشواك .

11 ـ يمكن ان تكون السيقان قائمة أو متسلقة أو افقية (Prostrate) ويمكنها أن تنتج غذاء وأن تختزن الماء . وتنمو السيقان إما هوائيا ، أى فوق سطح الارض ، أو أرضيا أى تحتها وتسمى الفروع الهوائية والترابية الناشئة عن السيقان القائمة بالفروع الجارية والممتدة على التوالى . ومالدرنة الا طرف متضخم من الافرع الممتدة . اما الريزومات والكورمات فهى سيقان ترابية لها سلاميات قصيرة نسبيا وبينما تكون الريزومات افقية فان الكورمات تكون منتصبة (عمودية) . يتراكم الغذاء بالبصلات فى أوراقها الحرشفية وليس فى الساق ذاتها التى تكون قصيرة .

12 ـ تتحور الجذور تحورات كبيرة أحيانا مثلها فى ذلك مثل السيقان والأوراق ، ومن بين هذه التحورات نذكر الجذور المساعدة والجذور المتسلقة والجذور الرئيسية (الوتدية) والجذور الجانبية التى يختزن فيها الغذاء .

الخلية أساس حياة النبات
The Cell as the Basis of Plant Life


3

الخلية أساس حياة النبات
The Cell as the Basis of Plant Life

لقد أصبح واضحا أن الخلية تمثل وحدة التركيب فى حياة النبات والحيوان . وقد ثبت أن وحدة التركيب هذه تمثل أساسا هاما لدراسة الكائنات الحية . إذ أصبحت المعضلات الأساسية التى تعترض دراسة الاحياء فى متناول البحث المباشر بعد أن كانت مجرد تصورات . وأدت هذه الدراسات بدورها إلى تعميق معارفنا عن الأحياء النباتية بالرغم من أن هناك الشىء الكثير عن تركيب ونشاط الخلايا الحية مما لم يكتشف بعد .

يرجع التفكير فى الخلايا إلى عصر الفلاسفة اليونانيين ، إلا أن المعرفة فى مجال بيولوجيا الخلية قد بدأت بعد التقدم الذى تم فى العلوم الأخرى ، وهذا مثال واضح يظهر مدى الترابط بين العلوم المختلفة ، إذ اكتشف المجهر فى أواخر القرن الخامس عشر ، ولكنه لم يتطور ليصبح جهازا علميا عمليا إلا فى أواسط القرن السادس عشر على يد ليفانهوك Anton Van Leeuwenhoek وآخرين . وسرعان ما أصبح المجهر من الادوات العلمية المهمة ، إذ استعمله علماء عديدون ومنهم العالم الانجليزى روبرت هوك Robert Hooke الذى دون ملاحظاته ونشرها فى سنة 1665 ، حيث أدخل اصطلاح الخلية لاول مرة . وقد لاحظ هوك بالمجهر أن لخلايا الخضروات الطازجة جدرانا وهذه الخلايا مملوءة بما يسمى بالعصير ، وفى نفس الوقت واصل جرو Nehemiah Grew ملاحظاته على طبيعة النباتات وأعطى وصفا تفصيليا لخلايا السيقان وأنسجة أخرى .

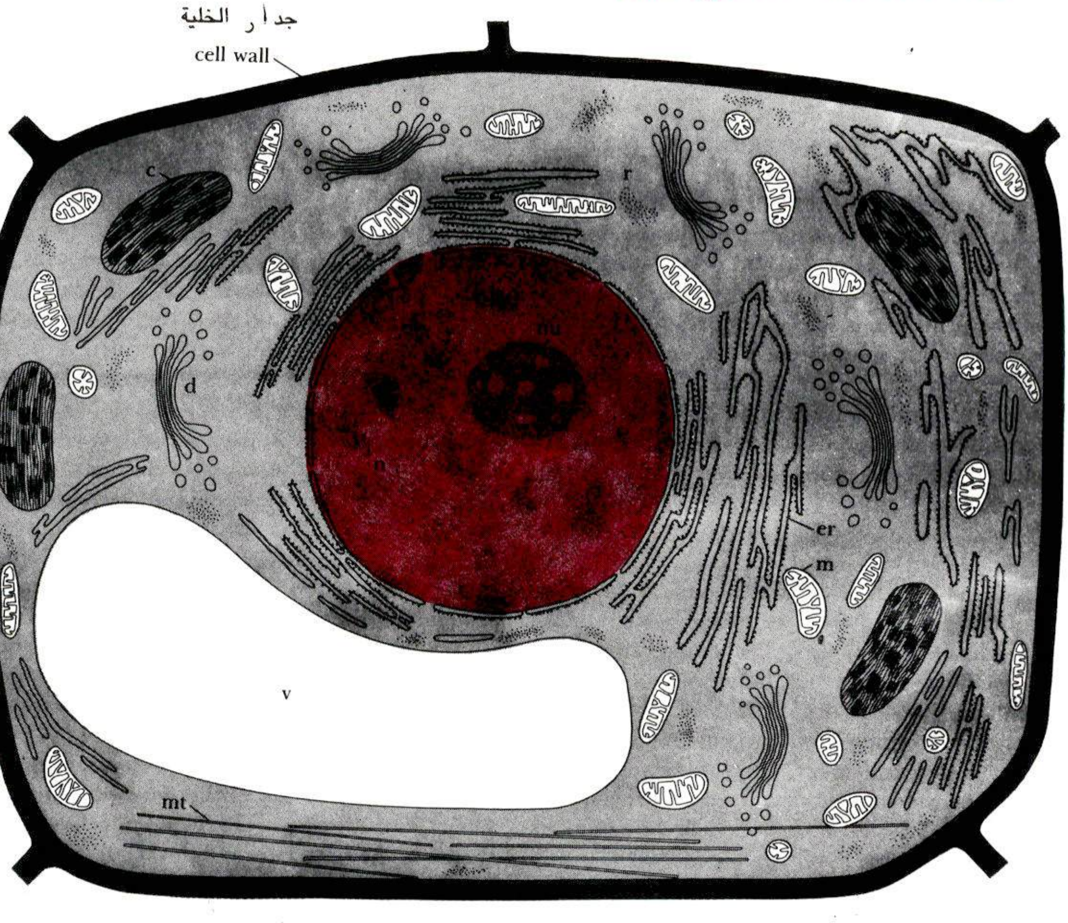
وبما ان دراسة خلايا النبات هى أسهل بكثير من دراسة خلايا الحيوان فليس من الغريب اذا أن نجد أن المعرفة عنها ودراستها قد تقدمت بسرعة أكبر . ولم يستعمل الاصطلاح المعروف باسم الخلية والذى ادخله هوك على نطاق واسع الا فى بداية القرن التاسع عشر ، ولم ينظر الى الخلية من قبل على انها وحدة تركيبية وتنظيمية ، ولكنها كانت لدى الباحثين عبارة عن كريات داخل نسيج واحد ويضمها غشاء متواصل . حيث كان التأكيد على وحدة النسيج الخلوى وليس على الخلايا نفسها . ولم يكن واضحا أن أجسام النباتات والحيوانات تتكون من خلايا تمثل الوحدات التركيبية والفسيولوجية بكل الكائنات الحية الا بعد ان تولى العالم الفسيولوجى الفرنسى دى تروشت Rene Dutrochet عام 1824 أدخال هذه الفكرة . وفى عام 1833 أعتبر روبرت براون Robert Brown النواة أهم مكونات الخلية ، لذا ساهمت هذه الفكرة فى تدعيم النظرية الخلوية .

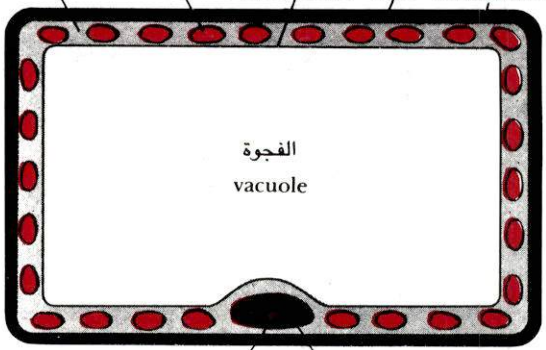
لايجب أن ينظر إلى حياة النبات على أساس تركيب ونشاط خلاياه فحسب ، وإنما يجب أن يلاحظ أيضا اعتبار ما يوجد من علاقات متبادلة بين مختلف أنسجة ذلك النبات من جذر وساق واوراق واعضاء جنسية أيضا . وسنوضح فيما بعد ارتباط العمليات والنشاطات الحيوية فى الخلايا بمكونات الخلايا نفسها ، وسيأتى ذكر ذلك فى المكان المناسب .

تركيب الخلية : Cell Structure

غالبا ماتسمى المحتويات الخلوية بالبروتوبلاست Protoplast ، وهو محاط بجدار خلوى Cell Wall فى الخلية النباتية ، وهذا الجدار عبارة عن طبقة مسامية تحمى الاجزاء الداخلية للخلية وتشبه فى ذلك غلاف كرة القدم (شكل : 3ـ1 ،

(شكل : 3ـ1) الخلية النباتية ـ جدرانها وعضياتها (رسم تخطيطى تقريبى): n ـ النواة nucleris ؛ nu ـ النوية nucleolus ؛ er ـ الشبكة الاندوبلازمية endoplasmic reticulum ؛ m ـ الميتكوندريا mitochondrion ؛ r ـ رايبوسومات ribosomes ؛ d ـ ديكتيوسوم dictyosome ؛ c ـ بلاستيدة خضراء chloroplast ؛ mt ـ القنيات microtubules ؛ V ـ الفجوة vacuole .





(شكل : 3ـ2) رسم تخطيطى يوضح الصفات العامة لخلية نباتية خضراء

3ـ2 , 3ـ3) . أما البروتوبلازم فيتألف من النواة Nucleus والمادة الحية المطمورة بالسيتوبلازم Cytoplasm والتى تحيط النواة . والنواة محاطة بغشاء نووى Nuclear Membrane . كشف المجهر الالكترونى انه مزدوج ومزود بثقوب Pores (شكل 3ـ1) وتحتوى النواة على نوية Nucleolus أو أكثر ، ومكونات خاصة تقوم بتحديد الصفات الوراثية للخلية وللكائن الحى . وتتألف الطبقة الخارجية للسيتوبلازم من غشاء رقيق جدا يسمى بالغشاء البلازمى Plasma Membrane ، الذى يبطن الجدار الخلوى . ويتحكم هذا الغشاء بمرور المواد من والى البروتوبلازم . **وبجانب النواة توجد مكونات أخرى يمكن ملاحظتها بواسطة المجهر الضوئى كالبلاستيدات Plastids بأنواعها المختلفة والموجودة فى النباتات الراقية وهى : (1) البلاستيدات الخضراء Chloroplasts (شكل 3ـ1 ، 3ـ2) ، وهى خضراء اللون بسبب احتوائها على مادة الكلوروفيل و (2) البلاستيدات الملونة Chromoplasts وهى ملونة بألوان غير خضراء ، و (3) البلاستيدات النشوية Amyloplasts وتحتوى على النشاء . ويطلق على النواة والنوية والبلاستيدات والجسيمات السيتوبلازمية الأخرى فى الخلية بالعضيات Organelles (Little Organs) .**

لقد تركز البحث فى بداية القرن العشرين على النواة ودورها فى الوراثة ، أما فى الوقت الحاضر ونتيجة لتطور المجهر الالكترونى فقد تم التعرف على مجموعة أخرى من العضيات الموجودة فى السيتوبلازم نذكر منها مثلا الميتكوندريا Mitochondria (شكل 3ـ1) وهى اصغر بكثير من البلاستيدات . وقد أمكن رؤيتها بالمجهر الضوئى وذلك بعد صبغها بصبغات خاصة . وبفضل المجهر الالكترونى أمكن معرفة تركيبها التفصيلى (شكل 3ـ3) ، وهى تتباين فى الشكل ، فإما ان تكون كروية أو تميل إلى الاستطالة . وتحتوى على مجموعة من الانزيمات الضرورية لعملية التنفس



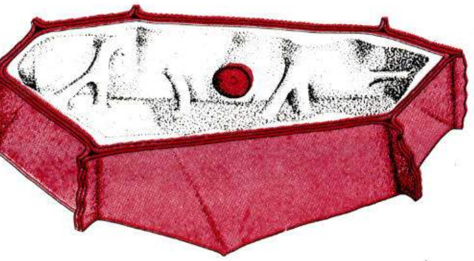
(شكل : 3ـ3) صورة بالمجهر الالكترونى (مكبرة 44 الف مرة) لجزء من خلية الفطر رايزيديومايسيس (Rbizidiomyces) . n ـ النواة ؛ nm ـ الغشاء النووى nuclear membranc ؛ m ـ ميتكوندريا ؛ er ـ الشبكة الاندوبلازمية ، d ـ ديكتيوسوم .

(الفصل ـ 6) . أما الانواع الأخرى من العضيات فقد امكن رؤيتها باستخدام المجهر الالكترونى فقط .

الشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic Reticulum وهى مجموعة من الأغشية الممتدة ذات ثلاثة ابعاد ، قد تؤلف من صفائح مسطحة أو انبوبية اشبه بانبوب مفرغ من الهواء . وتظهر هذه الشبكة فى المقطع على هيئة ازواج من الصفائح شكل (3ـ1 , 3ـ3) تحصر بينها فراغات مملوءة بسوائل ناتجة عن العمليات الحيوية للخلية ، وتترابط أجزاء هذا النظام مع بعضها البعض ، لذلك يمكن اعتباره نظاما داخليا أشبه بالنظام الدورى .

الديكتيوسومات : Dictyosomes وتسمى ايضا باجسام غولجى Golgi Bodies (شكل 3ـ1 , 3ـ2) . وهى تمثل أحد مكونات الخلية ، وتشبه الى حد ما الشبكة الاندوبلازمية وتكون قرصية الشكل منحنية بصورة عامة ، ومؤلفة من مجموعات يتراوح عدد كل منها من 2 إلى 7 أقراص وكل قرص يميل الى الزيادة فى السمك عند الحافة ويتألف من غشاء مزدوج يحصر بينه فراغا كالموجود فى الشبكة الاندوبلازمية .

الريبوسومات : Ribosomes شكل (3 ـ 1) وهى أجسام صغيرة جدا تعتبر مواقع لبناء البروتين وموقعها فى السيتوبلازم وتوجد حرة او مرتبطة ببعض اجزاء الشبكة الاندوبلازمية وتوجد ايضا فى البلاستيدات الخضراء . وهناك نوع أخر من العضيات يدعى بالانيبيبات المجهرية Microtubules وهى جسيمات عضوية قطرها حوالى 280 انجستروم وطولها يصل الى عدة ميكرونات (شكل 3ـ1) . وهى صلبة نسبيا ويختلف عددها وتوزيعها داخل الخلية وسوف نعود لاحقا لتناول هذه العضيات بشرح تفصيلى وتجب الاشارة هنا إلى أن جميع المكونات الخلوية التى ذكرت سابقا ماعدا البلاستيدات موجودة فى خلايا الحيوان كما هى موجودة فى خلايا النبات ، ويشكل بروتوبلازم خلايا النباتات الناضجة طبقة دقيقة تبطن جدار الخلية . وتوجد فجوة Vacuole تحتل الجزء الوسطى للخلية ، يمكن اعتبارها احدى العضيات الخلوية (شكل 3ـ1 , 3ـ2) ، كما توجد فى بعض الاحيان اكثر من فجوة فى الخلية الواحدة . والفجوة مملوءة بالعصير الخلوى المائى وغير الحى حيث يحتوى على العديد من العناصر ، وتحاط الفجوة بغشاء فجوى Vacuolar Membrane . وباختصار يمكن القول : إن الخلية النمطية النباتية الناضجة تتألف من جدار خلوى وسيتوبلازم بداخله النواة ، وفجوة أو أكثر واغشية وميتكوندريا وعضيات اخرى . ويلزم التنويه ايضا بان للخلية ثلاثة ابعاد الطول والعرض والارتفاع (شكل 3ـ4) ويختلف شكل الخلايا باختلاف النسيج الذى تتكون فيه وكذلك حسب الضغط أو القوى المؤثرة عليها خاصة عند زيادة حجمها . تستطيل بعض الخلايا جدا وبعضها الآخر كالتى فى التفاح والبطاطس ذات شكل كروى غير منتظم حيث تكون مقعرة فى جانب بتأثير ضغط الخلايا المحيطة بها ومحدبة فى الجانب الآخر تشبه فى ذلك فقاعات الصابون .



(شكل : 3ـ4) رسم منظور لخلية من بشرة البصل بثلاثة اوجه .

طبيعة البروتوبلازم : The Nature of Protoplasm

تحتوى كل خلية حية على مادة شبه سائلة ، ذات تركيب كيميائى وفيزيائى معقد جدا . والمادة الحية هذه هى البروتوبلازم . ان مصطلح البروتوبلازم قديم جدا ويعنى الشكل الاول First Form . وقد استعمل فى بداية ظهور الادب المسيحى فى وصف آدم ، اول ظهور للانسان ـ وقد استخدم فى وصف الاجنة الصغيرة جدا للحيوان وذلك فى سنة 1840 ، وبعد ست سنوات من هذا التاريخ أستعمل من قبل مول Hugo Von Mohl ليعبر به عن المحتويات الحية لخلايا النبات ، وقد كان موفقا الى حد ما فى استعماله لهذا التعبير حيث انه يعبر عن المعنى الحالى للبروتوبلازم . وبعد سنة

1861 بقليل اصبح واضحا ان البروتوبلازم يمثل المادة الحية لجميع الخلايا سواء أكانت حيوانية أو نباتية .

والبروتوبلازم عبارة عن مادة سائلة مرنة شبه شفافة ولزجة . وتتألف مادة البروتوبلازم من 75 - 90 ٪ ماء ومن مادة صلبة معظمها من البروتين : أثبت التحليل الكيميائى لكائن حى من الفطريات اللزجة Fungus Like Organism (Slime Mold) الذى يتألف بصورة رئيسية من البروتوبلازم ، أن الماء يشكل فيه حوالى 83 ٪ ، كما أن أكثر من نصف المواد الصلبة هى من البروتينات والباقى مواد دهنية وكربوهيدرات ومركبات أخرى عضوية . ومع هذا فتحليل البروتوبلازم كيمائيا لم يساعد كثيرا فى معرفة طبيعة هذه المادة . فبالامكان جمع العناصر الكيميائية والمركبات العديدة التى يتألف منها البروتوبلازم وخلطها ببعضها ومع ذلك فالخليط الناتج لايتميز بصفة الحياة . فالبروتوبلازم اذن هو اكثر من اتحاد بين البروتينات والمواد الاخرى . وكحقيقة معروفة فان البروتوبلازم له تركيب دقيق ومعقد (شكل . 3-1) وان التفاعلات الكيميائية التى لاتحصى ، وانتقال الطاقة وتحولاتها تحدث كلها داخل البروتوبلازم . ولن نحرز تقدما فى معرفتنا لطبيعة الحياة الا بدراستنا لهذه المظاهر دراسة عميقة .

وتعتبر المواد البروتينية من المركبات البروتوبلازمية التى درست دراسة وافية لانها تلعب دورا رئيسيا فى جميع العمليات الحيوية للخلية . فالانزيمات مثلا هى بروتينات تقوم بدور العامل المساعد الذى يسيطر على آلاف التفاعلات الكيميائية الضرورية لاداء كل خلية من الخلايا لوظيفتها ، وكذلك الكائن الحى ككل .

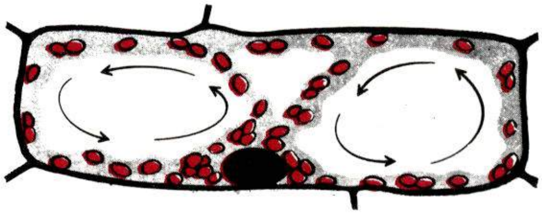
وتحتوى جزيئات البروتين دائما على عناصر الكربون C والهيدروجين H2 والاوكسجين O2 والنيتروجين N2 . وجزىء البروتين أكبر من جزىء الماء بآلاف المرات ، وتحتوى كثير من البروتينات أيضا على نسبة قليلة من الكبريت S . وفى المتوسط تكون نسبة الكربون الداخل فى تركيب البروتين 50 - 55٪ ونسبة الهيدروجين 6 - 7 والاوكسجين 21 - 23٪ والنتروجين 15 - 19٪ والكبريت اقل من 2٪ . وعند معاملة البروتين بمعاملات خاصة يتم تفتيت جزىء البروتين الى احماض امينية وهى الوحدات التركيبية ، أو اللبنات البنائية التى يتركب منها جزىء البروتين . ويوجد حوالى 20 نوعا من الاحماض الامينية فى جزء البروتين . وتترابط الاحماض الامينية لتشكل سلسلة طويلة من جزىء البروتين . ويتكون جزىء البروتين النمطى من حوالى 300 وحدة من الأحماض الامينية وقد يزيد او يقل هذا العدد عن ذلك . ويتوقف نوع البروتين الناتج على نوع وعدد جزيئات الحامض الامينى وترتيبها .

تتحد بعض البروتينات الخلوية مع مركبات تدعى بالاحماض النووية nucleic acids مكونة بروتينات نووية nucleoproteins ، وتوجد هذه البروتينات دائما فى الخلايا الحية . وتشبه الاحماض النووية البروتينات فى كونها جزيئات كبيرة وشبيهة بالخيوط وتتألف ايضا من عدد كبير من الوحدات الصغيرة . تتركب هذه الوحدات من اتحاد كيميائى بين قاعدة نيتروجينية وسكر خماسى الكربون pentose sugar (ريبوز ribose والريبوز اللااوكسجينى deoxyribose والفوسفات (شكل 4 - 17) .

1 - تصنف الاحماض النووية الى مجموعتين (1) حامض الريبوز اللااوكسجينى النووى deoxyribonucleic acid وللسهولة يرمز له بالرمز DNA و (2) حامض الريبوز النووى ribonucleic acid او RNA ويشبه فى تركيبه الحامض الأول وسنبين فيما يلى كيف أن الاحماض النووية تضم كل المعلومات الوراثية المخزونة والمنقولة الى الاجيال التالية . كما وأنها المسئولة عن بناء البروتينات الجديدة فى الخلية .

الحركة السيتوبلازمية : Cytoplasmic Movement

نشاهد فى السيتوبلازم أغلب الخلايا حركة ظاهرة . وهى إما ان تكون على شكل حركة انسيابية cytoplasmic streaming ، وذلك فى فترة ما خلال حياة الخلية ، اذ يمكن بواسطة المجهر رؤية انسياب السيتوبلازم داخل الخلية ، أو أن تكون هذه الحركة موضعية فى جزء معين من الخلية ، او ان تكون حركة عامة دائرية . ففى النباتات المائية كنبات الإلوديا Elodea مثلا تتحرك البلاستيدات الخضراء محمولة بالسيتوبلازم حركة انسيابية . وحركة البلاستيدات الخضراء هذه تشبه حركة خشب طاف فى مجرى مائى (شكل 3 - 5) . اما النباتات التى تعيش على سطح التربة فيمكن لبلاستيداتها الخضراء أن تغير من مواقعها ايضا ولكن ببطء كبير ، لذا لا يمكن ملاحظة



(شكل : 3ـ5) الحركة السيتوبلازمية cytoplasmic streaming ، فى خلية ورقة لنبات الالوديا المائى (Elodea) . تبين الاسهم اتجاه الحركة .

حركتها . وبصورة عامة لا يوجد تفسير متفق عليه للانسياب السيتوبلازمى ، ولكن تجب الاشارة الى ان هذه الحركة لا تتم الا باستهلاك طاقة وعليه فان هذه الحركة يمكن ان تكون مؤشرا لوجود حياة داخل الخلية .

النواة : The Nucleus

غالبا ما تكون النواة فى النباتات كروية أو بيضية الشكل وتكون محتوياتها أكثر لزوجة من السيتوبلازم . ويختلف حجمها النسبى حسب عمر ونوع الخلية . وتكون النواة فى الخلايا الفتية مركزية ، اما الخلايا المسنة والتى تشمل الفجوة معظم حيزها فتقترب نواتها من الجدار الخلوى على احد جوانب الخلية . النو ية nucleus (شكل : 3 ـ 1) كروية الشكل هى أيضا ، وأحيانا تكون غير منتظمة وتتألف بصورة رئيسية من الـ RNA أى البروتينات النووية . ومن المحتمل ان تلعب النويات دورا كبيرا فى حياة الخلية ، وهناك من الأدلة ما يثبت أنها تشارك فى تركيب الريبوسومات ribosomes ، التى هى عبارة عن جسيمات تتألف من الـ RNA والبروتين وتوجد باعداد كبيرة فى السيتوبلازم . ومن المعروف أن الـ RNA هو أحد مكونات الريبوسومات فى النويات . وأن حامض الـ RNA باتحاده مع البروتين يكون اصل جسيمات البروتينات النووية التى تنتقل فيما بعد الى السيتوبلازم حيث تكتسب كمية اخرى من البروتين لتصبح ريبوسومات عاملة functional ribosomes .

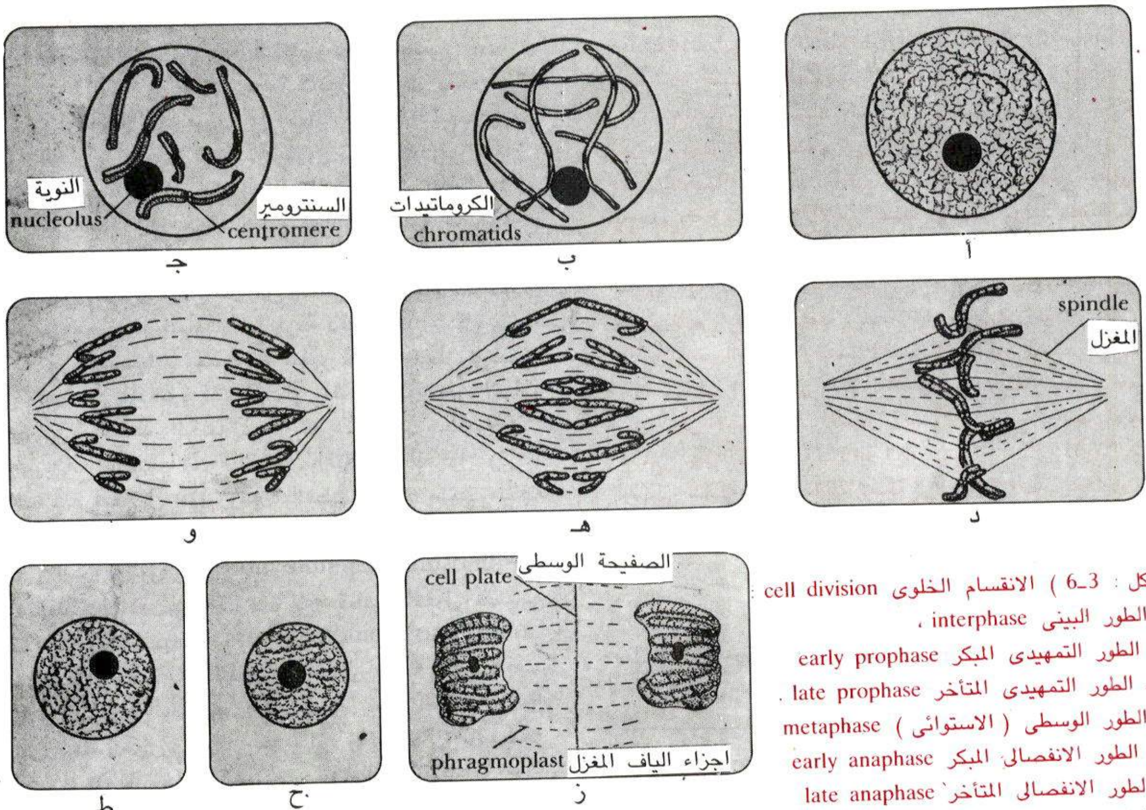
وسيشار فيما بعد الى دور النواة بشىء من التفصيل ، ولكن يجب أن نذكر هنا أن النواة ضرورية لاستمرار حياة الخلية ، كما ان ازالة النواة من الخلية لا يتسبب فى موت الخلية فى الحال حيث تتواصل فعالياتها البنائية ونشاطاتها التنفسية بفترة وجيزة إلى أن تتوقف هذه النشاطات وكذلك جميع الفعاليات الفسيولوجية ، حيث تنتهى بموت الخلية .

يعزى وجود كل خلية من خلايا جسم النبات أو الحيوان الى انقسام فى خلية سبق وجودها ولو لم يحدث انقسام للخلية لما كان هناك أى وجود للانسجة الجديدة فى أى نوع . ونتيجة انقسام الخلية ، تتكون خليتان تسميان بالخليتين البنيويتين ، وهما متشابهان وراثيا بسبب انقسام النواة الاصلية . وبوضوح هذه الحقيقة تمكننامن فهم عملية معقدة للغاية هى الانقسام النووىالذى يسمى بالانقسام الفتيلى .

الانقسام الفتيلى : Mitosis

من أهم مميزات الانقسام الفتيلى (غير المباشر) هى التغيرات التى تحدث فى اجسام شبه قضبية تظهر بوضوح متزايد داخل النواة وتسمى بالكروموسومات Chromosomes أو الاجسام الملونة color bodies لانها تجذب بشدة دقائق الاصباغ القلوية وتتلون بها . وللكروموسوم القدرة على استنساخ نفسه وذلك بالاستفادة من المواد الموجودة فى البروتوبلازم لتكوين نسخة طبق الاصل منه . ويتحرك كل كروموسوم (الاصل والنسخة) إلى احدى الخليتين البنيويتين الناتجتين من الانقسام وبذلك تحصل كل خلية على نفس الصفات (الخواص) الوراثية التى كانت فى الخلية الام ، ويرجع ذلك الى حقيقة ان الكروموسومات تحمل الوحدات الوراثية التى تدعى بالجينات genes والتى سوف يأتى ذكرها فيما بعد .

يمكن ملاحظة الانقسام الفتيلى بشكل واضح فى الانسجة التى تنمو بسرعة كأنسجة طرف الجذر . كما ويمكن ملاحظة المراحل المختلفة للانقسام بواسطة المجهر الضوئى كما هو موضح فى الرسم التخطيطى (شكل : 3 ـ 6) . وتجرى مثل هذه الدراسات على أنسجة مجهزة بطرق خاصة حيث تستعمل بعض الصبغات للتمييز بين المكونات المختلفة للخلية وفى مثل هذه المستحضرات يمكن ملاحظة مختلف مراحل عملية الانقسام . كما ويمكن مشاهدة مراحل الانقسام غير المباشر فى الخلايا الحية حتى بدون تصبيغ بواسطة مجهر خاص يسمى مجهر التباين الطورى Phase Contrast microscope وبواسطة هذا المجهر يمكن ملاحظة بعض التفاصيل الدقيقة التى لا يمكن للعين ادراكها بواسطة المجهر العادى ولكنها تظهر للعيان بواسطة مجهر التباين



(شكل : 3ـ6) الانقسام الخلوى cell division :
أ ـ الطور البينى interphase ،
ب ـ الطور التمهيدى المبكر early prophase
جـ ـ الطور التمهيدى المتأخر late prophase .
د ـ الطور الوسطى (الاستوائى) metaphase
هـ ـ الطور الانفصالى المبكر early anaphase
و ـ الطور الانفصالى المتأخر late anaphase
ز ـ الطور النهائى المبكر early telophase
ح ـ الطور النهائى المتأخر late telophase
ط ـ الطور البينى interphase .

الطورى على اساس الاختلاف فى كثافاتها . وعليه فان هذا المجهر يستعمل فى تصوير مراحل الانقسام فى الخلية الحية كما هو واضح فى شكل (3 ـ 7) .

المراحل المختلفة التى تمر بها النواة خلال فترة انقسام الخلية يمكن تقسيمها اختباريا للتبسيط الى الطور البينى : interphase والطور التمهيدى prophase والطور الاستوائى metaphase ثم الطور الانفصالى anaphase واخيرا الطور النهائى telophase ، انظر شكل (3 ـ 6 ، 3 ـ 7) . ان الطور البينى هو مرحلة تقع بين مجموعة من مراحل الانقسام الفتيلى والذى يليه .

ومع ان العملية ابتداء من الطور البينى الواحد الى الطور البينى الذى يليه يمكن ان توصف بانها سلسلة من المراحل ، إلا أن هذه المراحل متواصلة . وفى الانسجة سريعة النمو حيث توجد أغلب أنويتها فى مرحلة الطور البينى ، وتظهر محتويات هذه الانوية محببه أو على شكل شبكة ولا تتميز كروموسوماتها عن بعضها كوحدات قائمة بذاتها . وتشير كل الدلائل الى أن الكروموسومات موجودة كخيوط على غاية من الاستطالة والدقة ، ربما يكون لها امتدادات جانبية وعشوائية (شكل : 3 ـ 6 أ) وخلال الطور البينى أيضا يكون كل كروموسوم نسخة طبق الاصل منه .

وتظهر الكروموسومات فى المرحلة المبكرة للطور التمهيدى على شكل تراكيب متميزة كخيوط طويلة غير منتظمة التوزيع داخل النواة . وبواسطة قوة التكبير القصوى للمجهر الضوئى أمكن ملاحظة أن كل كروموسوم هو زوج طولى مكون من نصفى كروموسوم او كروماتيدين Chromatids يلتويان ويلتفان حول بعضهما فى الاتجاه الطولى (شكل 3 ـ 6 ب) . وكلما ارتقى الطور التمهيدى قصرت الكروماتيدات وغلظت ثم يختفى هذا الالتواء . وفى نهاية الطور التمهيدى تعود هذه الكروموسومات كما كانت من قبل كل منها يتكون من زوج من الكروماتيدات يمتد احدهما بجوار الآخر موازيا له تقريبا (شكل 3 ـ 6 جـ) . وتظهر ايضا على كل كروماتيد فى جهتين متقابلتين منطقة ذات وظيفة خاصة هى السنترومير Centromere ويختلف موقع السنترومير باختلاف الكروموسومات ولكن هذه المواقع تكون ثابتة لكل كرموسوم

من الكروموسومات . ومنطقة السنترومير لا تصبغ جيدا فى المستحضرات العادية وتظهر غالبا كأنها ثغرة أو بقعة ملونة عبر كل كروماتيد . ويستدل على نهاية الطور التمهيدى من اختفاء الغشاء النووى ثم يبدأ ظهور تركيب يدعى بالمغزل spindle كلما اقتربنا من الطور الاستوائى (شكل 3 ـ 6 د) . ويتألف هذا التركيب من مواد بروتينية من خارج الكروموسومات ويكون على شكل الياف اسطوانية تتجمع عند القطبين على جهتين متقابلتين من الخلية وكل ليفة تتألف فى الواقع من مجموعة انيبيبات شعرية دقيقة على شكل حزمة متقاربة من بعضها ، وكثيرا ما تظهر كأنها خيط ثم تنتقل الكروموسومات المبعثرة لتنتظم على المحور الوسطى للخلية والذى عنده تنقسم الخلية فيما بعد . وتكون سنتروميرات الكروماتيدات متجهة نحو القطبين المتقابلين للمغزل وتربط الالياف المغزلية كل سنترومير بالقطب الذى سوف يتجه نحوه . تعرف الاليـــاف المرتبطة بالسنتروميرات بالياف المغزل الكروموسومى Chromosomal Spindle fibres اما الالياف الاخــرى الممتدة بين قطبى المغزل فتسمى بالياف المغزل المستمرة Continuous Spindle Fibers ، وعندما تدخل الخلية فى الطور الانفصالى (شكل 3 ـ 6 هـ، 3 ـ 6 و) تنفصل سنتروميرات الكروموسوم الواحد ليكون كل كورماتيد كروموسوما جديدا، وتتجه كروموسومات الخليتين البينويتين الى القطبين لمساعدة الياف المغزل، ومازالت آلية حركة الكروموسومات غير معروفة، ويعتقد كثير من الباحثين أن الياف المغزل الكروموسومى تتقلص فتنسحب الكروموسومات المرتبطة بها الى القطبين، وتوجد ايضا اعتراضات على هذه النظرية. وحتى الآن لايوجد رأى عام متفق عليه عن حركة الكروموسومات فى الطور الانفصالى.

ان نهاية تحرك الكروموسومات فى اتجاه القطبين هى الاشارة ببدء الطور النهائى (شكل 3 ـ 6 ز) وفى هذا الطور تفقد الكروموسومات تركيبها المميز تدريجيا لتتحول الى شكل غير محدد (شكل 3 ـ 6ح) وفى نهاية الطور النهائى حيث تظهر الكروموسومات كخيوط ملتفة بطريقة غير منتظمة داخل النواة تختلف عما هو فى الطور التمهيدى. يتكون بعد ذلك الغشاء النووى ثانية وتظهر النويات من جديد ويصعب تمييز الكروموسومات عن بعضها. وظهور النويات من جديد هو نتيجة لوجود ماينظم ظهورها على كل فرد بزوج او ازواج معينة من الكروماتيدات. فاذا ماتقاربت هذه الكروموسومات من بعضها التحمت شظايا الانوية لتكوين نواة واحدة. واثناء الطور النهائى يتكون تركيب رقيق جدا عن خط الاستواء يتعامد مع المغزل يدعى بالصفيحة الوسطى Cell Plate يمتد تدريجيا عند الحافة حتى يتصل بالجدار

(شكل : 3ـ7) الانقسام غير المباشر ـ الفتيلى mitosis فى خلية السـويداء لنبـات السوسن الاحمـر الافريقى Haemantbus) Katherinae) ، كما تشاهد تحت مجهر التباين الطورى . لاحظ ان الكروموسومات تتميز بحجم كبير بالمقارنة بكروموسومات باقى الكائنات الحية بما فيها الانسان . تم تتبع اطوار الانقسام بالصور المأخوذة على فترات مبينة (من الركن الايسر للصف الاعلى): توقيت الصفر ـ الطور التمهيدى المتأخر ، بعد 20 دقيقة ـ الطور الوسطى المبكر ، الغشاء النووى قد اختفى لتوه ، وبدأت اطراف الكروموسومات تخترق السيتوبلازم ، بعد 60 دقيقة ـ نهاية الطور الوسطى المبكر ، (من الركن الايسر للصف الوسطى): بعد 100 دقيقة ـ الطور الوسطى ، بعد 120 دقيقة ـ الطور الانفصالى ، بعد 140 دقيقة ـ وسط الطور الانفصالى ، (من الركن الايسر للصف الاسفل): بعد 160 دقيقة ـ الطور الانفصالى المتأخر ، بعد 170 دقيقة ـ بداية الطور النهائى (بداية تكون الصفيحة الوسطى للخلية)، بعد 201 دقيقة ـ الطور النهائى (اكتمال تكوين الصفيحة الوسطى).

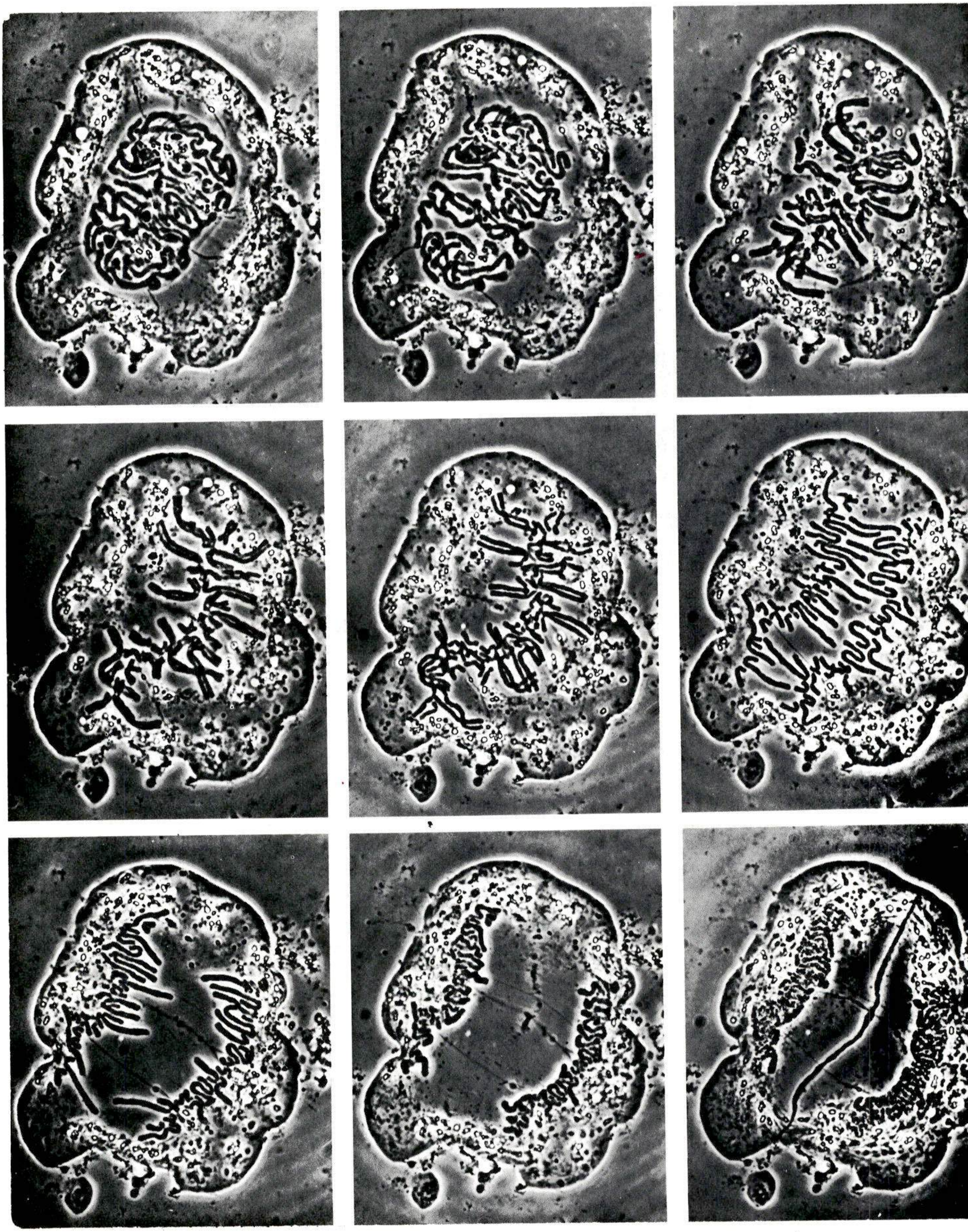
جدول 3ـ1

جدول 3ـ1 الفترة التى تستغرقها مراحل الانقسام الفتيلى فى جذور البازلاء pea roots (بالدقائق).

	°15	°25
الطور البينى	1356 Interphase (22.6 ساعة)	870 (14.5
الطور التمهيدى	126 Prophase	54
الطور الاستوائى	24 Metaphase	14
الطور الانفصالى	5 Anaphase	3
الطور النهائى	22 Telophase	11
المجموع	1533 (25.6 ساعة)	952 (15.9

الخلوى. وبنهاية الطور النهائى تنتظم الكروموسومات فى نواتين جديدتين وبذلك تدخل الخلية من جديد فى الطور البينى لتبدأ نشاطها فى عملية البناء (شكل 3 ـ 6 ط).

يختلف الوقت الذى تستغرقه الخلية لاتمام دورة انقسام كاملة باختلاف الكائن الحى وحسب نوع النسيج وباختلاف درجات الحرارة وعوامل اخرى ايضا. والجدول (3ـ1) يوضح ظروف الانقسام الخلوى لجذور البازلاء Pea تحت تأثير درجتين مختلفتين من الحرارة، ويلاحظ فى هذا الجدول ان الانقسام النووى فى بداية الطور التمهيدى وحتى نهاية الطور النهائى يستغرق ثلاث ساعات تحت درجة حرارة منخفضة نسبيا هى 15 م° (59ف°) ويستغرق نصف هذه المدة تحت درجة 25م° (77ف°)، وتضاعف هذا المعدل



الناتج عن زيادة درجة الحرارة 10 (50) يماثل التضاعف المتوقع فى معدلات التفاعلات الكيميائية التى تتحكم فيها الانزيمات، يلاحظ ايضا دورة انقسام كاملة تنتهى اطوارها المختلفة بما فى ذلك الطور البينى خلال 15 ساعة عند درجة حرارة 15م° وفى 16 ساعة بدرجة حرارة 25م°.

يستغرق الانقسام النووى حتى فى تلك الجذور التى تنمو نموا سريعا 10٪ فقط من المدة التى تستغرقها دورات انقسام كاملة . اما اغلب المدة وهى الـ 90٪ فيكون من نصيب الطور البينى، تتميز الانسجة النباتية سريعة النمو بان دورة الانقسام فيها تستغرق من 3 او 4 ساعات الى يوم كامل، اما خلايا بقية الاجزاء فبطيئة النمو كدرنات البطاطس مثلا ، اذ يمكن ان تستغرق الدورة اسبوعا او اكثر فى حين تستغرق البكتريا وقتا قصيرا قد يصل حتى الى اقل من 30 دقيقة.

تنقسم نواة خلايا بعض النباتات كبعض انواع الطحالب والفطريات بدون ان تتكون جدران خلوية، ونتيجة لذلك تكون هناك خلية متعددة الانوية، فضلا عن ذلك فان المادة الجدارية التى تتكون منها الجدران الفاصلة بعد انقسام الخلية لاتتواجد فى الخلية الا بعد ان تتم مرحلة الانقسام النووى بفترة قصيرة. يتضح اذن ان انقسام النواة وانقسام الخلية هما عمليتان منفصلتان.

انقسام الخلية Cell Division

يتم انقسام الخلية فى اغلب انسجة النباتات الراقية عندما تتكون الصفيحة الوسطى. وهذه الصفيحة تقسم الخلية الام الى خليتين بنويتين تحتوى كل منهما على نواة. كما ان من المعروف ان نشوء الصفيحة الوسطى عملية معقدة وعليه فسوف نشير هنا فقط الى الخطوط العامة لتصور مايحدث.

فى نهاية الطور الانفصالى او فى بداية الطور النهائى تختفى اغلب الياف المغزل المتواصلة Continuous Spindle Fibers وتبدأ الصفيحة الوسطى فى الظهور وسط الخلية وذلك نتيجة لظهور عدد كبير من الانيبيبات الدقيقة microtubules منتظمة فى مجاميع على شكل حزم تمتد على جانبى الصفيحة باتجاه القطبين (شكل 3 ـ 8) وتتفاعل هذه الحزم وتتداخل عند منطقة الصفيحة الوسطى، ولكنها قلما تكون متصلة عبر هذه الصفيحة . وتسمى مجموعة هذه الانيبيبات الدقيقة بالفراجموبلاست phragmoplast لقد وجد اخيرا فى منطقة الصفيحة الوسطى التى تتقابل عندها نهايات الانيبيبات اعداد كبيرة من الحويصلات الشبيهة باكياس صغيرة مسطحة او على شكل قطرات دائرية صغيرة محاطة باغلفة (شكل 3 ـ8) ويمكن لهذه الحويصلات ان



(شكل : 3ـ8) الجزء المنحنى لصفيحة وسطى فى خلية (سويداء السوسن) Haemanthus iris (ويظهر ـ فيه القنيات (انابيب دقيقة او انيبيبات) والحويصلات المنتشرة لتشكيل الصفيحة (قوة تكبير 75000).

تتوسع فى الحجم بصورة غير منتظمة لتلتقى ببعضها فى اخر الامر مكونة الصفيحة الوسطى. وباستمرار النمو تبدأ الانيبيبات الدقيقة فى الاختفاء من المنطقة التى كانت موجودة سابقا ولتصبح اكثر عددا عند حافة الصفيحة. ونتيجة لترتيب الانيبيبات هذه يتكون شكل برميلى هو الفراجموبلاست (شكل 3ـ 9) ويمكن رؤية ذلك بوضوح فى الخلايا الحية بواسطة مجهر ضوئى خاص او المجهر العادى فى حالة صنع المقطع. ويستمر هذا الشكل البرميلى الى ان تلامس الصفيحة جدار الخلية الام، وعندها يختفى الفراجموبلاست.

ومن المرجح ان الحويصلات التى ارتبطت ببعضها لتكوين الصفيحة قد نشأت نتيجة لعملية تشبه التبرعم تحدث اما من الديكتيوسومات dictyosomes او من الشبكة الاندوبلازمية endoplasmic reticulum او فى كليهما معا، بعدها تهاجر الى الوسط لتترتب بين الانيبيبات عند المنطقة

الاستوائية شكل : (3ـ9). ويعتقد ان اغشية الحويصلات تكون الاغشية البلازمية الخارجية للخلايا اما محتوياتها والتى يمكن ان تكون ذات طبيعة بكتينية فتكون مادة الصفيحة. وهكذا فان الصفيحة الوسطى فى الخلايا الناضجة هى بمثابة الطبقة الاولى من جدار الخلية (شكل : 3 ـ 14).

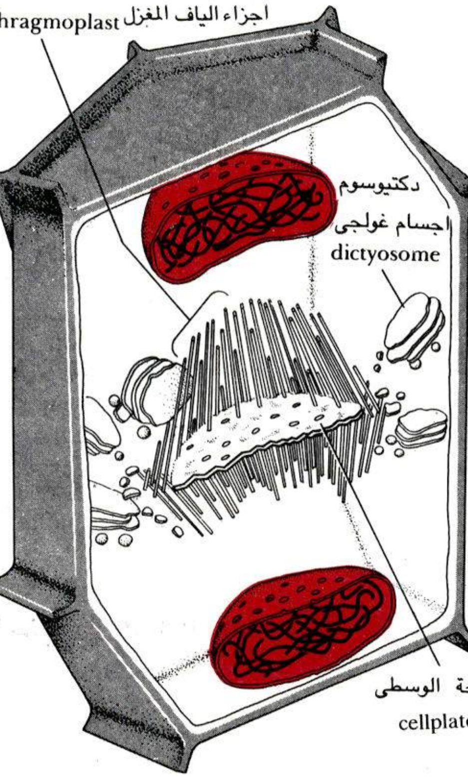
الكروموسومات والجينات : Chromosomes and Genes

كل خلية من الخليتين الوليدتين نتيجة للانقسام الفتيلى تحصل على نفس العدد والنوع من كروموسومات الخلية الام. وتتحدد فى هذه الكروموسومات مواقع الوحدات الوراثية اى الجينات. والجينات فى العديد من الانواع مرتبة فى نظام شريطى ذى مواقع محددة وثابتة يتميز بها كل كروموسوم، ويعمل كل كروموسوم اما بمفرده او مع مجموعة الكروموسومات المرافقة لتحديد الطبيعة الاساسية وسلوك الكائن الحى، يجب ملاحظة ان الجينات هى التى تمثل الوحدات الاساسية للصفات الوراثية وليست الكروموسومات وذلك لان عدد الصفات الموروثة لجميع الكائنات الحية التى قد درست سواء فى النبات او الحيوان يتجاوز بكثير عدد الكروموسومات بمئات المرات.

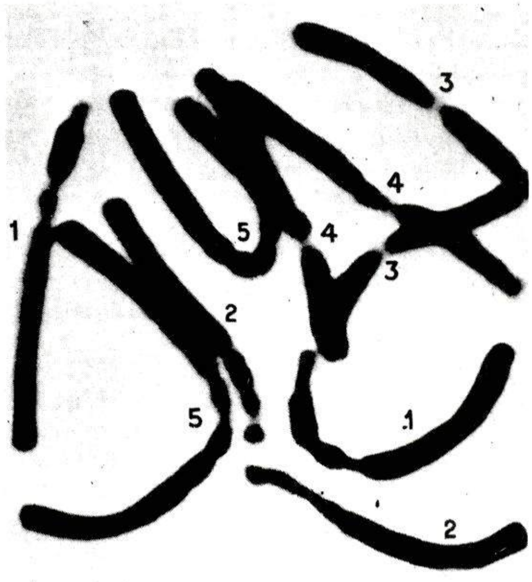
من المسلم به عموما ان نفس الكروموسوم فى جميع الخلايا التى هى من نفس النوع يحمل نفس عدد الجينات وبنفس مواقعها، اكثر من هذا فان الكروموسومات تحتفظ بشخصيتها خلال الانقسامات النووية حيث توجد شواهد كثيرة تدل على انها تبقى محافظة على تشكيلها خلال انقسامات الخلية، ومع انه من غير الممكن عادة تمييز الكروموسومات فى الطور البينى، فقد امكن تمييزها كخيوط اسطوانية دقيقة فى عدد الكائنات الاخرى . ربما تكون الحقيقة الاكثر اهمية هى ان الكروموسومات تتميز باختلافاتها حجما وشكلا وتركيبا، وقد امكن ملاحظة ذلك بمجاهر ذات قوة تكبير كبرى (شكل 3 ـ 10)،

وان هذه الاختلافات ثابتة مهما تعاقبت دورات الانقسام الفتيلى. كما ان عدد الكروموسومات فى جميع خلايا الكائن هو عدد ثابت، وهى صفة مميزة لكل نوع من الانواع، حيث يتراوح هذا العدد من بضعة كروموسومات الى مائة او اكثر ان اقل عدد من الكروموسومات فى النبات هو اربعة ، اذ نجد هذا العدد فى بعض انواع الفطريات الغلصمية (الخيشومية) gill fungi وكذلك فى الاعشاب الذهبية golden weed (haplopappus gracilis) وهى انواع صغيرة حولية من العائلة النجمية Aster family اما فى بعض انواع الزعفران crocus وفى قليل من النباتات الزهرية فيكون عدد الكروموسومات ستة فقط بينما يوجد فى الفاصوليا ، 14 garden bean من الكروموسومات وفى البصل 16 وفى الذرة 20 وفى البرسيم الحجازى 32 وفى التبغ والطماطم 48 وفى شجرة الدر دار الامريكى American elm 56 وفى اغلب اصناف قصب السكر 80 لقد وجد فى الانواع الاستوائية لعنب البحر sea grape (coccoloba diversifolia) ان عدد الكروموسومات 400، اما فى النباتات الزهرية فالاعداد الاكثر شيوعا هى 14 ، 16 ، 18 لقد كان يعتقد ان عدد الكرموسومات فى خلايا جسم الانسان هو 48 ولكن العدد 46 هو المقبول عموما الآن.

الكرموسومات اذن هى من المكونات الاساسية للخلية. والكرموسومات فى كل خلية من خلايا الجسم توجد بشكل زوجى وان اى فرد من اى زوج يتشابه مع الفرد الاخر سواء فى المظهر التركيبى او الوراثى (شكل : 3 ـ 10) ويقال ان هذين الفردين متماثلان homologous ويسهم كل من الوالدين بواحد من هذين الكرموسومين.



(شكل : 3ـ9) الفراجوبلاست والصفيحة الوسطى . تتكون الياف الفراجوبلاست من قنيات دقيقة .



(شكل : 3_10) كروموسومات متشابهة للتريليوم الارجوانى (Trillium erectum) .. تتكون الكروموسومات العشرة من خمسة ازواج ، وكل واحد من الازواج مشتق من ابوين مختلفين ، اعطى لعضوى كل زوج رقم واحد .

تتمثل اهمية عملية الانقسام الفتيلى فى حقيقة ان الكرموسومات فى الطور البينى تتضاعف طوليا مكونة كروموسومين متماثلين تماما فى تسلسل مواقع الجينات ونوعيتها. ومادامت الجينات فى الكروموسومات مختلفة فيما بينها على امتداد طول الكروموسوم فان هذا النوع فقط من مضاعفة عدد الكروموسومات طوليا هو الذى يضمن التوزيع العادل والمضبوط للجينات فى الخليتين البنيويتين، حيث ان كل كروموسوم من هذين الكروموسومين يتجه الى احدى الخلايا البنيويه.

البلاستيدات The Plastids يمكن ملاحظة اعداد كبيرة من البلاستيدات فى سيتوبلازم كثير من الخلايا، ويمكن ان توجد فى اشكال غير متطورة فى خلايا اخرى . وكما اوضحنا سابقا فإن اكثر انواع البلاستيدات الموجودة فى النباتات الراقية والتى درست بشكل واضح هى البلاستيدات الخضراء Chloroplasts والبلاستيدات الملونة Chromoplasts والبلاستيدات النشوية Amyloplasts .

يكون شكل البلاستيدات الخضراء عادة قرصيا (شكل : 3_1 ، 3_2 ، 3_5) وهى خضراء بسبب وجود مادة الكلوروفيل chlorophyll التى تتراوح كميتها فى البلاستيدات بين 2 و 3٪ ، والتى ربما تشغل 20٪ من حجم خلايا الورقة . ومع ان كل الصبغات تمتص الضوء فان الكلورفيل هو الصبغة الوحيدة التى تستطيع ان تستغل الطاقة الشمسية فى عملية مهمة هى البناء الضوئى Photosynthesis (الفصل _5) .

وعلى العموم فان الضوء مهم ايضا لبعض المراحل الاخيرة فى تكوين الكلوروفيل ، ونتيجة لذلك فان الكلوروفيل لايتكون فى الانسجة التى لاتتعرض للضوء كما هو فى الجذور والاوراق الداخلية للخس Lettuce او الكرنب Cabbage او الفسائل Sprouts او البادرات النامية فى الظلام . ويمكن ان يتكون الكلوروفيل من جديد بتعريض الجذور او الدرنات للضوء . كما انه يمكن ان يختفى من السيقان المسنة عند موت خلاياها الخارجية وتكوين القلف الذى يحجب وصول الضوء . بالاضافة الى صبغة الكلوروفيل فان البلاستيدات الخضراء تحتوى على صبغات صفراء وبرتقالية واحيانا حمراء تسمى الكاروتينيات Carotenoids . وتتكون هذه الصبغات على نطاق واسع وبصورة مستقلة عن الكلوروفيل ، فقد امكن عزل 70 نوعا من هذه الصبغات من نباتات المملكة النباتية . اما وظيفتها للنبات فهى غير معروفة تماما ولكن يمكن ان يقوم بعضها بحماية الكلوروفيل من التحلل (التلف) نتيجة اشعة الشمس ، وبعضها الآخر يقوم بدور غير مباشر فى عملية البناء الضوئى (الفصل _ 5) . ومع ان الكاروتينيات موجودة ايضا فى الحيوانات فان جميع الدلائل تشير الى انها لاتتكون فى الانسجة الحيوانية ويتم الحصول عليها جاهزة من النباتات . وصبغة الكلوروفيل تحجب ظهور صبغات الكاروتينيات ولا تصبح واضحة للعيان الا فى غياب صبغة الكلوروفيل . فمثلا عند تغطية نبات نجيل بلوحة خشبية او بحجارة فان الكلوروفيل يختفى ويكتسى نصل النبات النجيلى لونا اصفر خفيفا هو كل ماتبقى من صبغات الكاروتينيات .

هناك مجموعتان من الكاروتينيات هما الكاروتينات Carotenes والزانثوفيلات Xanthophylls ، وتوجد عموما فى البلاستيدات الخضراء . ويرجع اهتمامنا الشديد

بالكاروتينيات الى العلاقة بين بعض انواع الكاروتينيات وفيتامين A الذى يحتاج اليه كل من الانسان والحيوان فى مراحل نموهما المختلفة . اذ يمكن ان تتحول الكاروتينيات الى فيتامين A عند دخولها الجسم مع الطعام لذا يطلق عليها اصل فيتامين A (Pro – Vitamin A) . ولا يتم هذا التحول الا فى الحيوانات فقط التى يمكنها ان تقوم بهذا التحول ويعتقد ان هذا التحويل يجرى فى جدار الامعاء اساسا فى الثدييات والطيور .

اكثر الكاروتينيات اهمية – انطلاقا من مبدأ تحولها الى فيتامين A هو الذى يعرف ببيتاكاروتين β– Carotene وتركيبه الكيميائى هو $C_{40}H_{56}$. ويمكن لهذا الجزىء ان ينقسم الىجزيئين فى كثير من الحيوانات بارتباطه بالماء ويكون الناتج جزيئين من فيتامين A .

$$C_{40}H_{56} + 2H_2O \longrightarrow 2C_{20}H_{29}OH$$

بيتا – كاروتين   ماء   فيتامين A

وهناك نوع آخر من الكاروتين يسمى بالفا – كاروتين α- Carotene ويتمتع بنفس الصفات التركيبية لبيتا – كاروتين مع بعض الاختلاف الطفيف فى ارتباط الذرات حيث يؤدى مثل هذا التغيير الى ان نصف جزيئات كاروتين الفا لايستفيد منها الحيوان ، بمعنى ان كاروتين الفا ليس به من فيتامين A غير نصف ما فى كاروتين – بيتا . اما الكاروتينيات والزانثوفيلات الاخرى فتعتبر اقل اهمية بالنسبة للحيوانات حيث لايستفاد الا من جزء منها فقط .

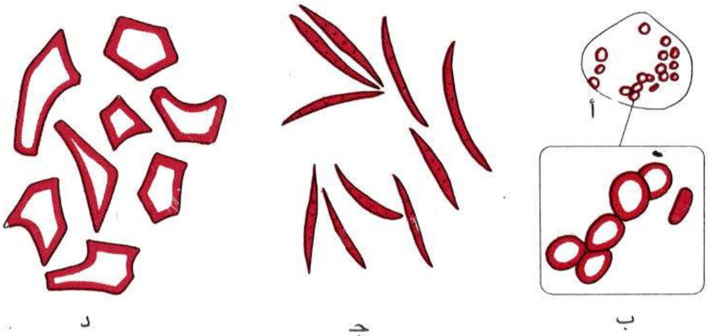
اما الحيوانات التى تحتاج الى فيتامين A فانها تحصل عليه اما على هيئة فيتامين – A او اصل فيتامين – A . ولو ان النباتات الخضراء توقفت او انقطعت عن تكوين الكاروتينيات لتعذرت الحياة على الحيوانات . ومن اللازم ان يحتوى غذاء الانسان على الخضروات الخضراء والصفراء وكذلك الفاكهة ، وذلك بسبب مايوجد بها من اصل فيتامين – A ذى القيمة الغذائية العظيمة . واهم هذه المواد الغذائية هى البرتقال والبطاطا الحلوة والقرع والجزر واللفت الاصفر Rutabaga وبعض الخضروات الخضراء كالكرنب الاسود Kale والسبانخ Spinach والقرنابيط الاسود Broccoli .

وتحصل الحيوانات المجترة على الكاروتين من النجيليات او من نباتات العلف الاخرى . وان الاحتفاظ بالكاروتين فى التبن (القش) يعتبر من المشاكل الرئيسية لانه من السهولة بمكان أن يتلف خلال عملية تكديسه فى الحقل ، ويمكن ان يصل فقدان الكاروتين فى القش الى 45 – 80٪ ويرجع هذا الى انزيم يعمل بمساعدة ضوء الشمس والرطوبة التى مصدرها الندى او من ماء انسجة النباتات نفسها .

وتحتفظ الحيوانات بقسم من الكاروتينيات الموجودة فى غذائها لتحوله الى فيتامين – A ، والقسم الآخر يطرح خارجا دون ان يطرأ عليه اى تغير . كما يمكن ايضا ان يتجمع فى النواتج المختلفة لعدد من الحيوانات . مثلا تتجمع الكاروتينيات فى حليب الابقار ومن هنا يأتى اللون الاصفر للقشدة خاصة عندما يتغذى القطيع على النجيليات الطازجة . اما اللون الموجود فى الجبن والسمن الصناعى فيكون عادة نتيجة اضافة لون صناعى اليهما وليس له علاقة بوجود الكاروتين او عدمه .

وفى الدجاج يتجمع الزانتوفيل فى صفار البيض واليه يعزى ، بصورة رئيسية ، لونه الاصفر الذهبى ويعتبر البيض احد المصادر المهمة لفيتامين – A علما بأن به نسبة منخفضة قليلا على هيئة اصل فيتامين A

ويعزى لون البلاستيدات الملونة الى وجود كاروتينيات مختلفة والتى تعتبر الصبغات الرئيسية المسئولة عن اللون الاصفر والبرتقالى . وكذلك الالوان الحمراء المختلفة للازهار والفاكهة والبذور . فمثلا يرجع سبب لون كثير من الازهار الصفراء الى وجود صبغات الكاروتينيات فى بلاستيداتها الملونة . وهذه الاجسام غالبا ماتكون قرصية الشكل ، وقد تكون طويلة او مغزلية او حلقية (شكل : 3–11) ويمكن ان يكون اصل البلاستيدات الملونة بلاستيدات قد اختفى منها الكلوروفيل فظهرت فيها الكاروتينيات ، ويمكن ان تكون بلاستيدات لم تكن فى فترة من فترات حياتها خضراء قط . خلال نضج الموز مثلا يتحلل الكلوروفيل وبذلك يتغير لون جدار الثمرة من اللون الاخضر الى اللون الاصفر ، كما لو ان البلاستيدات الخضراء تحولت الى بلاستيدات ملونة . ان تغير لون بعض الفاكهة عند نضجها الى اللون الاصفر او الاحمر لايعنى اختفاء الكلوروفيل فقط ولكن يمكن ان يكون ناتجا عن تجمع صبغات اضافية من الكاروتينيات كما هى الحال مثلا فى الطماطم اذ يرجع لون ثمرتها الناضجة بدرجة



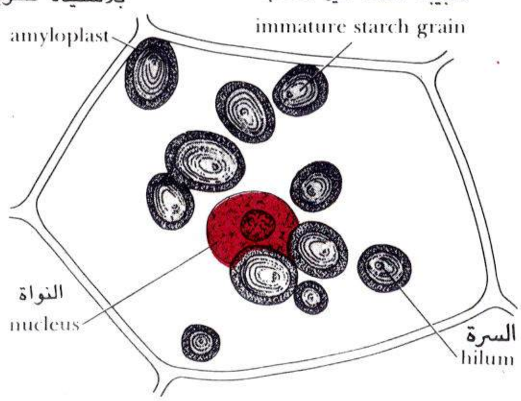
(شكل : 3ـ11) البلاستيدات الملونة chromoplasts :
أ ـ فى اوراق تويج زهرة القرع petal of squash flower
ب ـ البلاستيدات الملونة لنفس الزهرة مكبرة ،
جـ ـ فى اوراق تويج زهرة قرة العين nasturtium
د ـ فى اوراق تويج زهرة امبيش (Impatiens)

كبيرة الى اللايكوبين Lycopene الذى يعتبر من الكاروتينيات البرتقالية ـ الحمراء ، بالاضافة الى احتوائها على الكاروتين الذى هو اصل فيتامين ـ A .

ان اهمية الصبغات التى توجد فى البلاستيدات الملونة يرجع الى الدور الذى تلعبه فى تلوين الاوراق فى الخريف . ويمكن تصنيف هذه الالوان الى عدة مجاميع . احدى هذه المجاميع والتى تشمل الحمراء والزرقاء والارجوانية ستتم مناقشتها فى نهاية هذا الفصل . اما مجموعة الالوان الصفراء فمرجعها وجود الكاروتينيات (لوحة ـ2) . ويرجع سبب اصفرار الاوراق المسنة الى تحلل صبغات الكلوروفيل والكاروتينيات ، حيث ان تحلل صبغات الكلوروفيل هو اسرع من تحلل الزانتوفيلات . وهذه الاخيرة اذا ماتحدت مع مواد اخرى فإنها تعطى اللون الاصفر لاوراق الخريف .

وتكتسب البلاستيدات النشوية والتى لاتحتوى بطبيعتها على صبغات ، اهمية خاصة لكونها تتحول الى مراكز لتكوين النشاء (شكل : 3ـ12) . وهى منتشرة بشكل واسع فى الخلايا الخازنة من اجزاء النبات غير الخضراء كالبذور والجذور وفى اجزاء اخرى من جسم النبات .

ان المخزون الرئيسى من الكربوهيدرات فى النباتات الخضراء الراقية يكون على شكل نشاء يتكون فقط فى داخل البلاستيدات ، ويتعذر وجوده فى الفجوة او بشكل طليق فى السيتوبلازم . كما انه يترسب على شكل حبيبات نشوية داخل البلاستيدات . ينتظم ترسيبها فى طبقات متعاقبة حول المركز الذى يسمى بالسرة Hil um . ان مظهر هذه الطبقات تحت المجهر مشابهة فى ترتيبها الى حد كبير لترتيب طبقات صدفة البطلينوس Clam Shell . اما عندما يكتمل نمو حبيبات النشاء داخل البلاستيدات النشوية فانه يصبح من المتعذر تمييز الغلاف الرقيق الذى يحيط بها الا بالاستعانة بطرق خاصة لصباغتها . تحوى البلاستيدات عديمة اللون عادة على حبيبة واحدة ولكن قد نجد اكثر من واحدة فى بعض النباتات . وتختلف حبيبات النشاء فى العديد من انواع النباتات لدرجة انه يصبح من الممكن التعرف على هذه النباتات بمجرد فحص حبيباتها تحت المجهر (شكل : 3ـ13) . وغالبا مايستفاد من هذه الميزة فى تشخيص حبيبات النشاء للكشف عن المواد الغذائية وكذلك بعض العقاقير المغشوشة . كذلك يمكن ان يتجمع النشاء فى البلاستيدات الخضراء الموجودة فى الاوراق وذلك عندما تكون سرعة تكون المواد الكربوهيدراتية اكبر من سرعة المواد المنتقلة . وهذا النشاء يتجمع بصورة مؤقتة فى اوراق عدد من النباتات خلال النهار عند ماتتجاوز نسبة النواتج المتكونة من عملية البناء



(شكل) 3ـ12) البلاستيدات النشوية amyloplasts فى خلية درنة بطاطس صغيرة تحاط هذه البلاستيدات بحبيبات النشاء .

الضوئى نسبة المواد المنتقلة منها الى اجزاء اخرى من النبات . واذا ماتعرض النبات لنقص فى امداده بالماء او الاملاح المعدنية ، فان هذا النقص يحول دون الاستفادة من المواد الكربوهيدراتية فى عملية النمو ، وبالتالى يحول ذلك دون تراكم هذه المواد بدرجة دائمة .

تنشأ البلاستيدات الخضراء من البلاستيدات الاولية Proplastids . ويظن انها تنتقل من جيل الى آخر فى سيتوبلازم البيضة المخصبة Fertilized Egg للنباتات الراقية . وفى هذه المرحلة تكون صغيرة جدا

ويحتمل ان تكون على شكل حبيبات وهى عديمة التركيب الداخلى . اما فى الخلايا المنقسمة الفتية فيمكن رؤية البلاستيدات الأولية بواسطة المجهر الالكترونى ، حيث تبدأ فى هذه المرحلة بتكوين الاغشية الداخلية المميزة للبلاستيدات الخضراء الناضجة .

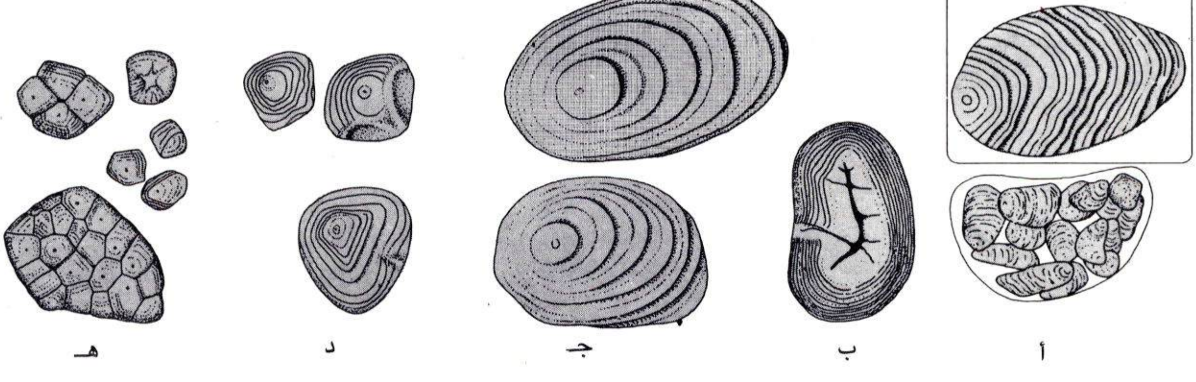
ويمكن للبلاستيدات الملونة والبلاستيدات النشوية ان تنشأ ايضا من البلاستيدات الاولية ، وفى بعض الاحيان تتحول البلاستيدات من نوع الى نوع آخر ، هذا وكما ذكرنا سابقا يمكن ان تتحول البلاستيدات الخضراء الى بلاستيدات ملونة ، كما يمكن ايضا ان تنشأ من البلاستيدات النشوية . ويحدث هذا مثلا عندما تتعرض درنات البطاطس لضوء ساطع لعدة ايام حيث تكتسب اللون الاخضر ويتم تكون البلاستيدات الخضراء فى البطاطس فى الانسجة الخارجية اى تحت القشرة مباشرة . ولكنها مع ذلك تبقى محتوية على حبيبات نشوية كبيرة . وبغض النظر عن وجود هذه الحبيبات النشوية الكبيرة فانها ايضا سرعان ما تبدأ فى تكوين الاغشية الداخلية التى تتميز بها البلاستيدات الخضراء عن غيرها . ويرافق هذا الاخضرار الذى يحدث للبطاطس عند تعرضها للضوء تكوين مقادير سامة من الصولانين Solanine وهى مادة شبه قلوية .

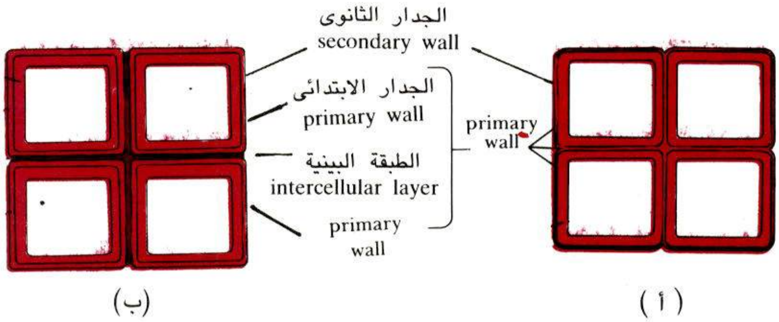
نلاحظ فى الخلايا التى ينشط فيها الانقسام ، ازدياد عدد بلاستيداتها الاولية وتقلص احجامها وذلك بسبب تعرضها للانقسام هى الاخرى ، كى تتوزع على الخلايا البنوية . ومع ان هناك من الادلة ما يثبت انقسام البلاستيدات الخضراء الناضجة فى بعض رتب النباتات الراقية ، فمن المرجح ان زيادة عدد البلاستيدات ترجع الى حدوث انقسام فى مرحلة البلاستيدات الاولية . ولم يلاحظ قط حدوث اى انقسام فى البلاستيدات الملونة والبلاستيدات النشوية الناضجة .

جدار الخلية The Cell Wall

ان جدار الخلية فى النباتات هو اكثر وضوحا تحت المجهر من اى تركيب آخر للخلية ، وهو يتكون نتيجة لنشاط البروتوبلازم الحى للخلية . ان وجود جدار الخلية بشكله

(شكل : 3ـ13) حبيبات النشاء ـ
أ ـ لثمرة الموز banana ـ الحبيبات داخل الخلية ، وحبيبة مكبرة .
ب ـ للبازلاء garden bean .
جـ ـ للبطاطس potato .
د ـ البطاطا الحلوة sweet potato .
هـ ـ الرز rice ـ يلاحظ عدة حبيبات فى البلاستيدة النشوية تدعى احيانا بالحبيبة المركبة ـ compound grain



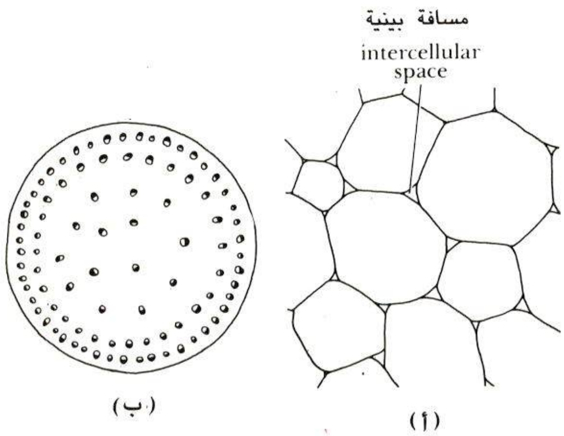


(شكل : 3ـ14)
جدار الخلية المؤلف من طبقات
أ ـ كما يظهر تحت المجهر العادى
ب ـ كما تظهر بطرائق خاصة .

الواضح يشكل الاختلاف الجوهرى بين النباتات والحيوانات ، لان مثل هذا الجدار لا يكون موجودا فى خلايا الحيوانات . ومع ذلك فان لخلايا كل من النبات والحيوان اغشية بلازمية تحيط بالسيتوبلازم وتكون متميزة عن الجدار الخلوى . ويطلق احيانا على هذه الاغشية فى الحيوان اسم الجدار الخلوى ، بينما يمثل فى الواقع احد المكونات الحية للخلية ، فى حين ان جدار الخلية الناضجة للنبات غير حى . وفضلا عن ذلك يكون جدار الخلية النباتية صلبا فيما يساعد فى تحديد شكلها . وكنتيجة لذلك يكون عادة جسم النبات الكامل النمو ثابت الشكل والموضع . ولو كان لخلايا اجسامنا جدرانا شبيهة بتلك الموجودة فى النبات لما كانت لعضلاتنا القدرة على الحركة بالكامل .

ان لتركيب جدار الخلية ومكوناته الكيميائية تأثيرا كبيرا على استفادة الانسان من النبات . حيث يأكل الانسان والحيوان الانسجة النباتية ذات الجدران الخلوية الرقيقة والطرية كما هى الحال فى الثمار والاوراق والسيقان والجذور اللحمية . اما الانسجة ذات الجدران السميكة والقوية والصلبة فيمكن ان تستغل فى صناعة الانسجة او فى صناعة الالواح الخشبية او فى انتاج مواد متينة اخرى .

(شكل : 3ـ15)
أ ـ خلايا ذات جدران ابتدائية فقط فى انسجة ساق الذرة ،
(ب) مقطع عرضى لساق الذرة يبين وحدات النسيج الموصل ـ الحزم الوعائية vascular bundles



طبقات الجدار الخلوى Layers of the Cell Wall

يتألف الجدار الذى يفصل بين خليتين متجاورتين من الخلايا الرقيقة الجدران كتلك الموجودة فى الانسجة غير الناضجة واجزاء النباتات الطرية من ثلاث طبقات حيث يوجد لكل من الخليتين المتجاورتين جدار ابتدائى Primary Wall ويفصل هذين الجدارين طبقة تدعى بالطبقة البيئية Intercellular Layer وتسمى ايضا بالصفيحة الوسطى Middle Lamella حيث تعتبر جدارا مشتركا بين خليتين .

ان الدليل على وجود الطبقات الثلاث الآنفة الذكر والتى تظهر بالمجهر العادى ، كجدار واحد رقيق (شكل : 3ـ14 أ) يمكن اثباته عن طريق نزع الطبقة البينية التى تعمل كملاط (مادة اسمنتية) بين الخليتين وذلك باستخدام انزيمات او مذيبات خاصة لهذا الغرض وتبقى الخلايا محتفظة بجدرانها بعد ازالة الطبقة البينية . وتظهر الطبقة البينية بوضوح اكثر

عندما تكون الخلايا المتجاورة ذات زوايا متقاربة اكثر حيث تملأ تماما الفراغات الموجودة بين تلك الخلايا . ومن الشائع جدا ظهور فجوات بينية Intercellular Spaces مختلفة الحجم (شكل : 3ـ15 أ) فى العديد من الانسجة النباتية . وترتبط هذه الفجوات عموما بنظام من الاتصال البينى الداخلى المملوء بنسب مختلفة فى الغازات الجوية ، ولا يفصل طبقات الجدران الموجودة فى الخلايا التى تكون الانسجة النباتية الطرية غير الجدران الابتدائية والطبقة البينية (شكل : 3ـ15). اما فى الانسجة الليفية والخشبية فهناك جدار ثانوى Secondary Wall يتكون داخل الجدار الابتدائى (شكل : 3ـ14 ب). وترجع متانة الالياف او صلابة الخشب وقشور الجوز الى السمك النسبى للجدار الثانوى والى تركيبه . وهكذا تضاف طبقتان جديدتان هما الجداران الثانويان فيصبح عدد الطبقات التى تفصل كل خليتين فى النسيج النباتى خمس طبقات بعد ان كانت ثلاث طبقات فقط . وتظهر الطبقات الثلاث بين الجدران الثانوية كجدار واحد يمكن تسميته ايضا بالجدار الابتدائى على الرغم من انه مؤلف من ثلاث طبقات وتزداد مساحة الجدران الابتدائية خلال فترة نمو الخلية ، اما الجدران الثانوية فتتكون فقط بعد وصول الخلية الى الحجم والشكل النهائيين . وبعد تكون الجدار الثانوى غالبا ما تموت الخلية ويختفى البروتوبلاست منها .

مكونات جدار الخلية: Composition of the Cell Wall

يختلف التركيب الكيميائى لجدار الخلية فى النباتات الراقية حسب اختلاف الطبقات المؤلفة له . اما المركبات الاساسية التى يتألف منها جدار الخلية فهى السيليولوز Cellulose والبكتين Pectin واشباه السيليولوز Hemicellulose واللجنين Lignin وتحتوى جدران بعض الخلايا بالاضافة الى المركبات السابقة على مواد دهنية مثل السيوبرين Suberin ومواد شمعية Waxes . وما السيليولوز وبعض المركبات الجدارية الاخرى ، الا مواد كربوهيدراتية تتألف من الكربون والهيدروجين والاوكسجين ، ويكون عدد ذرات الهيدروجين ضعف عدد ذرات الاوكسجين كما هو فى الماء . ويمكن ان نصنف الكربوهيدرات الى مجموعتين :

1ـ الكربوهيدرات البسيطة Simple Carbohydrates ، كالجلوكوز Glucose والسكروز (سكر القصب) Sucrose ويلاحظ ان التركيب الكيميائى للجلوكوز وسكر العنب هو $C_6H_{12}O_6$. حيث يصنف كسكر احادى Monosaccharide ، وعند ارتباط جزيئين من هذا السكر معا يفقدان جزيئين من الماء يتكون جزىء واحد من سكر ثنائى Disaccharide كالسكروز والمالتوز (سكر الشعير)Maltose واللكتوز(سكر اللبن)$C_{12}H_{22}O_{11}$

2ـ السكريات المتعددة Polysaccharides مثل النشاء Starch والسليولوز ومواد كربوهيدراتية اخرى . وتتألف هذه السكريات من ارتباط وحدات السكر البسيط مع فقد جزىء ماء . هذا وان الصيغة الكيميائية العامة للعديد فى هذه المركبات هى $(C_6H_{10}O_5)_n$ حيث ان الرمز (n) يشير الى العدد الكبير من الوحدات الاساسية (مئات او حتى آلاف الوحدات) التى ترتبط معا على شكل سلسلة طويلة لتكوين جزىء من النشاء او السليولوز وتصنف مثل هذه المركبات على انها سكريات متعددة . ومع ان البكتين Pectin يعتبر من السكريات المتعددة الا انه مؤلف من وحدات رئيسية محورة . اما اصطلاح اشباه السليولوز فهو اصطلاح غير واضح وذلك لانه ليس بالسليولوز بل يعود الى سكريات متعددة من نوع آخر ، وهو يعتبر احدى المواد التى يتألف منها جدار الخلية ، وبصورة مستقلة عن السليولوز . يمكن للسليولوز واشباه السليولوز والسكريات المتعددة الاخرى ان تتحول الى سكر بسيط بطرق كيميائية او بواسطة انواع عديدة من البكتريا والفطريات .

تتألف الطبقة البينية فى الانسجة الطرية غير الخشبية من البكتين نسبة الى المركبات البكتينية الموجودة على هيئة بكتات الكالسيوم Calcium Pectate ولهذه المادة قابلية للذوبان بمذيبات مختلفة فمثلا بكتات الكالسيوم غير الذائبة التى تكون الصفيحة الوسطى يمكن ان تتحول الى مواد مذابة بفعل بعض الانزيمات ، ونتيجة لذلك تصبح الخلايا اقل تماسكا وارتباطا فيما بينها وهذا هو السبب الذى يجعل الفاكهة نسيجا رخوا . ان كثيرا من البكتريا والفطريات

المتسبية فى تعفن انواع مختلفة من الانسجة النباتية تنتج انزيم البكتنيز Pectinase الذى يحلل بكتين الطبقات الوسطية فتتحول هذه الانسجة الى انسجة رخوة وهذه الانسجة الرخوة تعتبر غذاءا مهما للكائنات الحية الدقيقة التى تسبب تعفنها وتحللها للبكتريا، والفطريات نشاط كبير ايضا فى تعطين الياف الكتان وخيوط القنب والجوت عن طريق نقع سيقان هذه النباتات فى جداول او فى برك أو فى صهاريج (احواض) او بواسطة تركها فى الحقول ممتدة على الارض معرضة للمطر او الندى . وبذلك فان انزيمات الكائنات الحية الدقيقة تسبب عزل حزم الالياف عن الانسجة المحيطة بها . وبعد ذلك تجفف السيقان وتكسر بين اسطوانات دوارة ومن ثم تمشط لفصل الالياف الثمينة والتى منها تغزل خيوط الجوت والكتان .

يتألف الجدار الابتدائي فى الانسجة الطرية غير الخشبية بصورة رئيسية من البكتين والسليولوز واشباه السليولوز ، وتتغير كثيرا نسبة المحتويات البكتينية للجدار الابتدائى ، حيث تكون عالية فى بعض اجزاء النبات دون البعض الآخر . فمثلا تكون نسبتها عالية فى جدران خلايا البطاطس والبنجر والتفاح وفى قشرة فاكهة الحمضيات . فعندما يزاد صنع مربى الفاكهة او الجيلى من الفاكهة التى تكون نسبة البكتين فيها منخفضة، او عند الرغبة فى رفع سعر الفاكهة المصدرة، يضاف للفاكهة أو لعصيرها مستحضرات البكتين التجارية وذلك لضمان الحفاظ عليها لفترة اطول ولتحويل عصيرها الى الجيلى لجعله اكثر تماسكا ، وهذا يمكن عمله فى المصنع والبيت على حد سواء . اما اهم مصادر البكتين للاغراض التجارية فهى قشرة فاكهة الحمضيات ، حيث تتراوح محتوياتها من مادة البكتين بين 20 و50٪ ويستخلص البكتين بواسطة الاحماض المخففة الساخنة . والبكتين يستفاد منه ايضا فى الطب والتجارة .

والمركبات الرئيسية التى يتألف منها الجدار الثانوى هى السليولوز واشباهه واللجنين . ويتكون الخشب من السليولوز الذى يشكل 41ـ48٪ منه وكذلك اشباه السليولوز بنسبة 25ـ40٪ واللجنين بنسبة 19 ـ 30٪ . وعلى العموم فإن اكثر من ثلث المواد العضوية التى تتكون فى النباتات هى السيلولوز ، ليس ذلك فى النباتات الوعائية فقط وانما ايضا فى النباتات غير الراقية مثل الطحالب algae . واللجنين عبارة عن مركبات عضوية معقدة (ليست بالكربوهيدراتية) ، توجد فقط فى جدران خلايا النباتات الوعائية وفى الخلايا التى لها جدران ثانوية ، ولا يقتصر وجود اللجنين فى مثل هذه الخلايا على الجدار الثانوى فقط ، ولكن يتعداه الى طبقات جدار الخلية الاخرى . ويبدأ تكون اللجنين حقيقة فى الطبقات البينية ومن ثم بقية الطبقات . ولهذا فان الطبقة البينية والجدران الابتدائية تحتوى على اللجنين اكثر من الجدران الثانوية ، كما يساهم اللجنين فى اكساب جدار الخلية متانة ، علما بانه لا يزيد من متانة الشد tensile strength . وترجع مرونة جدران الياف القطن حوالى 94٪ سيليولوز الى عدم احتوائها على اللجنين أما الياف الكتان فتحتوى على نسبة قليلة منه ، كما انه من المحتمل ان الصلابة العالية لالياف كل من الجوت والسيزال والقنب (المانيلا) والخشب ترجع الى وجود اللجنين فيها بمقادير لا يستهان بها .

السيلولوز هو الذى يكون هيكل جدار الخلية ، وقد وجد الباحثون انه عبارة عن مركبات خيطية الشكل مطولة نسبيا تعرف باللويفات fibrils ، وذلك عن طريق استخدام المجهر الالكترونى . وتتكون هذه اللويفات من جزيئات السليولوز ذات الشكل الاسطوانى النحيف والطويل . وتظهر هذه الالياف على السطح الخارجى للجدار الابتدائى على شكل شبكة نسيجية (شكل : 3 ـ 16) .

وتكون اللويفات فى الجدران الثانوية متوازنة الى حد ما ولكنها توجد على هيئة طبقات باتجاهات متعاكسة ، أى أن كل طبقة تتصالب مع الطبقة التى تليها ، يسهم هذا التصالب فى متانة الجدار . أما المسافات التى بين الألياف فتحوى البكتين وأشباه السليولوز واللجنين ، ويعتمد هذا إما على وجود الجدران الثانوية فى الخلية أو اقتصارها على الابتدائية فقط . ومن الممكن ازالة هذه المواد باستخدام مذيبات مناسبة وترك الهيكل السليولوزى المترابط وحده (شكل 3 ـ 16ب) .

ان السليولوز الذى يؤلف أحد عناصر الجدار الخلوى من اكثر المواد العضوية وفرة فى عالم النبات ، واهميته للانسان معروفة منذ فترة بعيدة على شكل خشب أو الواح خشبية أو الياف . ويمكن الحصول على السليولوز فى الصناعة من مصادر عديدة وبصورة رئيسية من القطن والخشب . فالولايات المتحدة مثلا تنتج 15 مليون بالة قطنية



(شكل : 3ـ16) الجدار الابتدائى لالياف القطن الفتية (اخذت الصورة السطحية بالمجهر الالكترونى). ذابت المكونات غير السليولوزية (من مادة البكتين pectin فى الاساس) ، تاركة الياف السليولوز وحدها . تظهر الطبقة البكتينية بصورة حزم بيضاء (تكبير 12600).

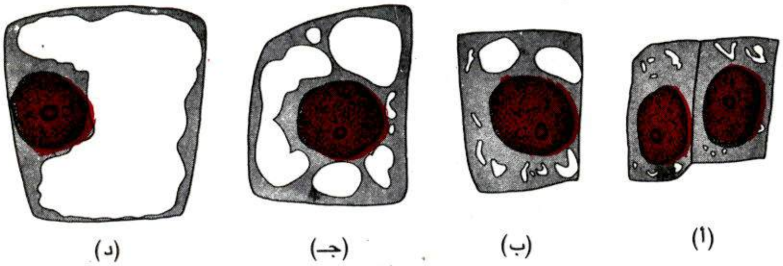
سنويا (زنة كل واحدة منها 500 رطل انجليزى) ، وتستهلك أكثر من 100 مليون طن من عجينة الخشب Pulpwood . وتجرى التجارب وبشكل مستمر فى مختبرات البحوث الكيميائية لايجاد طرق جديدة لتحويل السليولوز الى منتجات يستفاد منها فى حياتنا اليومية . لقد أحدث جزىء السليولوز تغيرا واضحا فى عالمنا واعتبر ما يستهلك منه معيارا لتقدم حياة الناس فى تلك البلاد . فيكفى مثلا لتدليل على مدى الفائدة الكبيرة للسليولوز فى حياتنا اليومية ان يذكر الورق كأحد نواتجه ، حيث أن الورق يصنع فى الغالب من الخشب وخاصة الخشب الرخو soft wood لاشجار التنوب الفضى spruce والتنوب fir والصنوبر . كما يصنع أيضا من الاخشاب الصلبة hard wood كالحور وحتى البلوط . ان التطور الجدير بالملاحظة فى صناعة عجينة الخشب راجع الى الزيادة السريعة فى مدى الاستفادة من صنوبريات المناطق الجنوبية . بحيث ان هذه الغابات سريعة النمو وتعطى انتاجا كل 15 ـ 20 سنة . كما ان مدى الاستفادة من نواتج الخشب الرخو أصبحت أحد معايير التطور الصناعى فى جنوب الولايات المتحدة . عند انتاج العجينة تفصل الألياف الخشبية اما بطرق ميكانيكية او عن طريق معاملة الصفائح الخشبية الرقيقة بالاحماض او القلويات المخففة ، حيث يتم التخلص من أغلب مركبات الخشب غير السليولوزية . ويمكن تصنيع بعض المنتجات من الخشب الرخو كأوراق الصحف والكتب والمجلات وغيرها من أوراق الطباعة ، وكذلك الأوراق التى تستخدم فى صناعة البناء وأوراق التغليف وأوراق صنع عبوات الحليب وأوعية الطعام وأوراق الجدران ومنتجات الحرير الاصطناعى والسيلوفان والسليولويد (تصنع من الافلام) . إن السلع المصنوعة من عجينة الخشب هى من بين أكثر السلع انتشارا فى عالم اليوم .

لقد كان اللجنين lignin الى بضع سنوات خلت يعتبر من النفايات المستخلصة من الخشب عند تجهيز عجينة الورق . أما الان فيستعمل فى صناعة الاطارات المطاطية ، اطارات المطاط الاصطناعى والسيراميك والطعام وصناعة العقاقير والاصباغ وفى انتاج الراتنجات (الاصماغ الاصطناعية) والمواد اللاصقة الاخرى ومبيدات الحشرات ومواد دباغة الجلود وفى انتاج الفانيلين Vanillin . والفانلين هى المادة الفعالة لاعطاء نكهة الفانيليا Vanilla . وقد كان يحصل عليها فقط من الثمار غير الناضجة الشبيهة بالفاصوليا لنبات استوائى من العائلة السحلبية Orchid ، أما الآن فان معظم انتاجنا للفانلين مشتق من النفايات اللجنينية الناتجة عن صناعة عجينة الورق ، وحيث إن اللجنين متوفر بكميات كبيرة ونفاياته قليلة جدا لذلك فانه يشكل مادة أولية مهمة فى الاغراض الصناعية .

الفجوة : The Vacuole

الفجوة عبارة عن منطقة فى الخلية مملوءة بالعصير الخلوى وموجودة فى السيتوبلازم ، كما انها محاطة بغشاء يدعى بالغشاء الفجوى Vacuolar membrane انظر شكل (3 ـ 2) . ومع أن هذا الغشاء يعتبر أحد اجزاء الفجوة إلا انه فى الواقع يعتبر حدودا داخلية لطبقة السيتوبلازم . ويتألف العصير الخلوى من الماء بنسبة قد تتجاوز 98٪ ، كما

(شكل : 3ـ17) مراحل تكون الفجوة فى خلية نباتية (رسم تخطيطى) .



أنه يحتوى على بروتينات مذابة أو بروتينات بهيئة غروية ، وعلى سكريات وأحماض عضوية وأصباغ مذابة فى الماء ومركبات أخرى كثيرة . وتعتبر محتويات الفجوة هذه غير حية . هذا وتقوم الفجوة بخزن معظم البروتين الاحتياطى للنبات .

لقد درست المراحل الاولى لنشوئ الفجوات فى خلايا القمم النامية للجذور والسيقان ذات النشاط الانقسامى العالى (شكل : 3 ـ 17) . وكما هو معروف إن وظيفة هذه المناطق التى يطلق عليها بالمرستيم meristem هو تكوين خلايا جديدة عن طريق انقسامها . ان خلايا القمم المرستيمية على العموم متشابهة فى القطر وذات جدران رقيقة ولها نواة كبيرة بالمقارنة بحجم الخلية . تكون الفجوات فى مثل هذه الخلايا متعددة وصغيرة ومنتشرة فى كل جهة من السيتوبلازم . ان الخلايا المرستيمية تنقسم على الدوام اما الخلايا التى تليها فتتسع وتتمايز . وهذه الخلايا هى التى تؤلف فيما بعد الخلايا الناضجة للساق والجذر . واثناء ازدياد حجم الخلية يزداد حجم الفجوة معها وذلك بسبب دخول الماء اليها ، وتساعد زيادة حجم الفجوة على ارتباطها مع الفجوات المجاورة مكونة فى النهاية فجوة كبيرة تشغل معظم مساحة الخلية . وترجع الزيادة فى حجم الخلايا نفسها أساسا الى ما تمتصه من ماء وليس بسبب البروتوبلازم الجديد الذى يتكون على الرغم من أن البروتوبلازم يزداد أيضا فى كميته . فمثلا المحتوى المائى لخلية طرف الجذر يزداد 20 مرة خلال زيادة حجمها بينما الوزن الجاف لها يزيد بمقدار 5 مرات فقط . اغلب الالوان الصفراء والبرتقالية وبعض الالوان الحمراء للنباتات هو بسبب صبغات البلاستيدات ، اما الالوان الزرقاء الخفيفة أو البنفسجية أو الارجوانية وأغلب الالوان الحمراء الداكنة أو القرمزية فهى على العموم بسبب الصبغات المذابة فى العصير الخلوى للفجوة .

صبغات الانثوسيانين Anthocyanin Pigments عبارة عن مركبات معقدة ناتجة من ارتباط الصبغة مع السكر . كما أن الصبغات الموجودة فى الفجوة تكون مذابة فى الماء ويمكن لن تنتشر الى خارج الفجوة عند اتلاف الاغشية الخلوية اما بالحرارة أو بطرق اخرى . ويمكن ان نجد هذه الصبغات فى أى جزء من أجزاء النبات ، ولا يكون وجودها مقصورا على تركيب معين . وهى المسئولة عن اللون الارجوانى للطبقة الخارجية للفت والقرمزى للفجل وبنجر الحدائق واللون الازرق والاحمر للكروم والخوخ والكرز ، والأرجوانى والأزرق والاحمر لزهرة النجمة aster البونسيتة poinsettia والجيرانيوم geranium ونجمة الصباح morning glory والحزامى tulip والياقوتية hyacinth ، كما انها المسئولة أيضا عن الوان أزهار أخرى كثيرة . يتغير لون الانثوسيانين بتغير المحيط الحامضى ، ولذلك فان نفس الصبغة يمكن ان تكون حمراء فى زهرة وزرقاء فى زهرة أخرى .

يلعب الانثوسيانين سويا مع الكاروتينات وربما التانينات tannins ، دورا مهما فى تكوين اللون الخريفى للأوراق . حيث يتكون الانثوسيانين بغزارة فى كثير من النباتات الخشبية ، فيحجب ظهور الكاروتينات وبذلك تكون صبغة الانثوسيانين هى المسئولة فى هذه الحالة عن مختلف الالوان الحمراء والارجوانية لعديد من أوراق الخريف (اللوحة ـ 2) .

تتحكم العوامل الوراثية فى قسم من نواتج الانثوسيانين خلال فصل الخريف ، أما القسم الآخر فتتحكم فيه العوامل المحيطة مثل الضوء والحرارة . ان الذى يعيق تكوين الانثوسيانين بصورة عامة هو تجمع السكريات وكذلك تأثير الضوء المباشر أحيانا ، كما هو ملحوظ فى أوراق العليق السام Poison ivy حيث تكون ألوان أوراقه براقة فى ظروف الضوء الشديد بالمقارنة باللون الاصفر للاوراق النامية فى الظل أو اللون اللماع للاوراق الواقعة فى الاطراف من هامة الشجرة

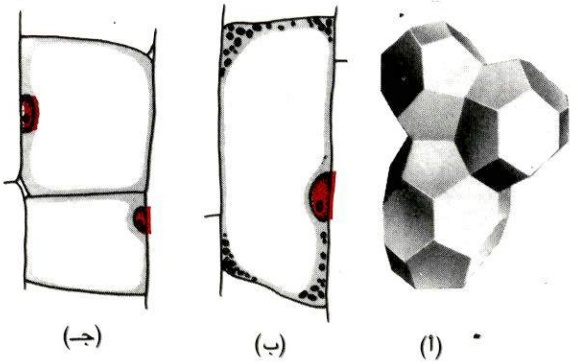
بالمقارنة بالاوراق الصفراء الواقعة الى الداخل والاقل تعرضا لضوء الشمس . قد تكون العوامل الوراثية هى السبب فى عدم تكوين الانثوسيانين فى العديد من النباتات الخشبية كما هى فى جنبة الرباط Privet والليلك Lilac . أما درجات الحرارة المنخفضة فتساعد عموما على تكوين الانثوسيانين . وعلى عكس الفكرة الشائعة فيمكن لالوان الخريف ان تكون على أشدها حتى ولو لم يكن هناك صقيع ، شريطة أن تنخفض درجات الحرارة .

الخلايا والأنسجة : Cells and Tissues

كما ذكر فى الفصل الثانى فان خلايا النبات توجد على شكل مجاميع تدعى بالأنسجة ، ويمكن أن تكون الأنسجة بسيطة أى انها تتألف من نوع واحد من الخلايا ، أو ان تكون مركبة كما فى الخشب Xylem . واكثر أنواع الانسجة البسيطة شيوعا هى التى تعرف بالبرنشيما Parenchyma وهى الأنسجة الرئيسية للثمار والازهار ومناطق اللب والاجزاء غير المتخصصة فى الساق والجذر والخلايا البرنشيمية الناضجة بصورة عامة لا تملك جدرانا ثانوية ، حيث ان لها نواة وطبقة رقيقة من السيتوبلازم تبطن الجدار الابتدائى .

(شكل : 3ـ18 ب ، 3ـ18 جـ) . والميزة الرئيسية للخلايا البرنشيمية التى تميزها عن أغلب خلايا النبات هى طول عمرها بعد نضجها (حيث انها فى بعض الاحيان تعيش لعدة سنوات) . والخلايا البرنشيمية على العموم هى نسيج بسيط كما أنها يمكن أن تنضم الى خلايا أخرى مكونة نسيجا مركبا . والخلايا البرنشيمية مفيدة للنبات من عدة نواح : كونها أنسجة خازنة للنشاء والسكر ، كما هى الحال فى النسيج البرنشيمى لمنطقة النخاع (اللب) وبعض المناطق الاخرى فى الساق والجذر . كما ويمكن ان تكون مفيدة ايضا نتيجة تجمع او تراكم الماء فيها كما يحدث فى النباتات العصارية . وعموما يتخلل النسيج البرنشيمى فجوات بينية واضحة .

وتتأثر الخلايا البرنشيمية بالضغط اكثر من غيرها وذلك فى حالة وقوع ضغط على مجموعة مختلفة من الخلايا تكون البرنشيمية من ضمنها . وتميل اقطار الخلايا البرنشيمية لان تكون متساوية فى كل الاتجاهات . ولقد تبين من خلال فحص مجموعة من هذه الخلايا بشكل مجسم ان لكل خلية 14 وجها ثمانية منها سداسية الاضلاع ، أما الستة الباقيات فرباعية الاضلاع (شكل 3 ـ 18 أ) . ومن غير المحتمل أن نجد خلية



(شكل : 3ـ18) الخلايات البرنشيمية parenchyma .
أ ـ مقربة كثيرا .
ب ـ خلية تحوى حبيبات النشاء فى ساق نبات منصة جاك Jack - in - the - pulpit (Arisaema triphyllum)
جـ ـ خلايا فى منطقة اللب ـ النخاع لنبات ألحور poplar (Populus) .

برنشيمية بمفردها ، وان حدث أن وجدت فإن شكلها سيكون مختلفا كثيرا عما هو عليه فى حال وجودها ضمن النسيج حيث تتأثر بارتباطاتها مع الخلايا المجاورة ، ويمكن أن يكون ذلك لعوامل أخرى . وشكل الخلايا البرنشيمية يمكن أن يكون مشابها لخلية من النوع البدائى قد طرأ عليها بعض التغير خلال مرحلة التطور فباتت كأنها خلايا من نوع آخر .

وسوف نقوم فيما بعد بدراسة الأنسجة المتخصصة الاكثر تعقيدا ثم الربط بينها وبين الوظائف النوعية التى تؤديها .

الخلاصة Summary

1 ـ تتألف النباتات والكائنات الحية الأخرى من وحدات بروتوبلازمية تدعى بالخلايا . وتحاط هذه الوحدات عادة بجدار خلوى .

2 ـ ينقسم البروتوبلازم عادة الى النواة والسيتوبلازم ويطلق على النواة والنوية ومختلف الاجسام السيتوبلازمية اسم العضيات Organelles . ويمكن رؤية بعض العضيات كالنواة والنويات والبلاستيدات والفجوات بالمجهر الضوئى ، فى حين لايمكن رؤية الميتكوندريا الا بعد صبغها بصبغة خاصة ، أما الشبكة الاندوبلازمية والريبوسومات والدكتيوسومات والانيبيبات فلا يمكن تمييزها الا بواسطة المجهر الالكترونى .

3 ـ يتألف البروتوبلازم من مواد عديدة أهمها الماء والبروتين ، وتتألف البروتينات من الإحماض الامينية . ويمكن ان يرتبط البروتين مع أحماض نووية مكونا بروتينات نووية توجد في كل من النواة والسيتوبلازم . توجد مجموعتان من هذه الأحماض هما : حامض الريبوز اللااوكسجيني النووي (DNA) وكذلك حامض الريبوز النووي (RNA)

4 ـ تتكون جميع الخلايا من انقسام لخلايا كانت موجودة قبلها . ويحدث الانقسام الخلوي عقب الانقسام النووي (الانقسام الفتيلي) حيث يحدث من خلاله انقسام لكل كروموسوم في الخلية الام ، وكل قسم يذهب الى خلية بحيث يتم توزيع المواد الوراثية بالتساوي على الخلايا البنيوية .

5 ـ يتم الانقسام الخلوي عادة بتكوين الصفيحة الوسطى في السيتوبلازم ويرتبط بالصفيحة الوسطى في بداية تكوينها الفراجموبلاست المؤلف من تجمعات للانيبيبات .

6 ـ الجينات genes هي وحدات تحمل المعلومات الوراثية ومواقعها على طول الكروموسومات وهي التي تحدد وتتحكم في أطوار وشكل ووظيفة الكائن الحي .

7 ـ البلاستيدات الخضراء تحتوي على المادة الخضراء والكاروتينيات . أما البلاستيدات الملونة فتحتوي على الكاروتينيات فقط ، في حين أن البلاستيدات النشوية ، التي لاتحتوي على أصباغ تعتبر مراكز لتكوين النشاء . والنشاء يمكن أن يتكون أيضا من البلاستيدات الخضراء . ويمكن للبلاستيدات في العديد من الانواع أن تنشأ من البلاستيدات الأولية Proplastids ، أو أن أحد أنواع البلاستيدات الناضجة يمكن أن يتحول الى نوع آخر ، كما هو الحال في البلاستيدات الخضراء التي تتحول الى بلاستيدات ملونة .

8 ـ الكاروتينيات هي المسئولة أساسا عن الالوان الصفراء والبرتقالية في الأزهار والثمار والبذور ، وعن اللون الأصفر للاوراق في فصل الخريف . وقليل من الكاروتينيات تكون حمراء أو برتقالية ـ ومادة البيتا ـ كاروتين هي المصدر الرئيسي لفيتامين A .

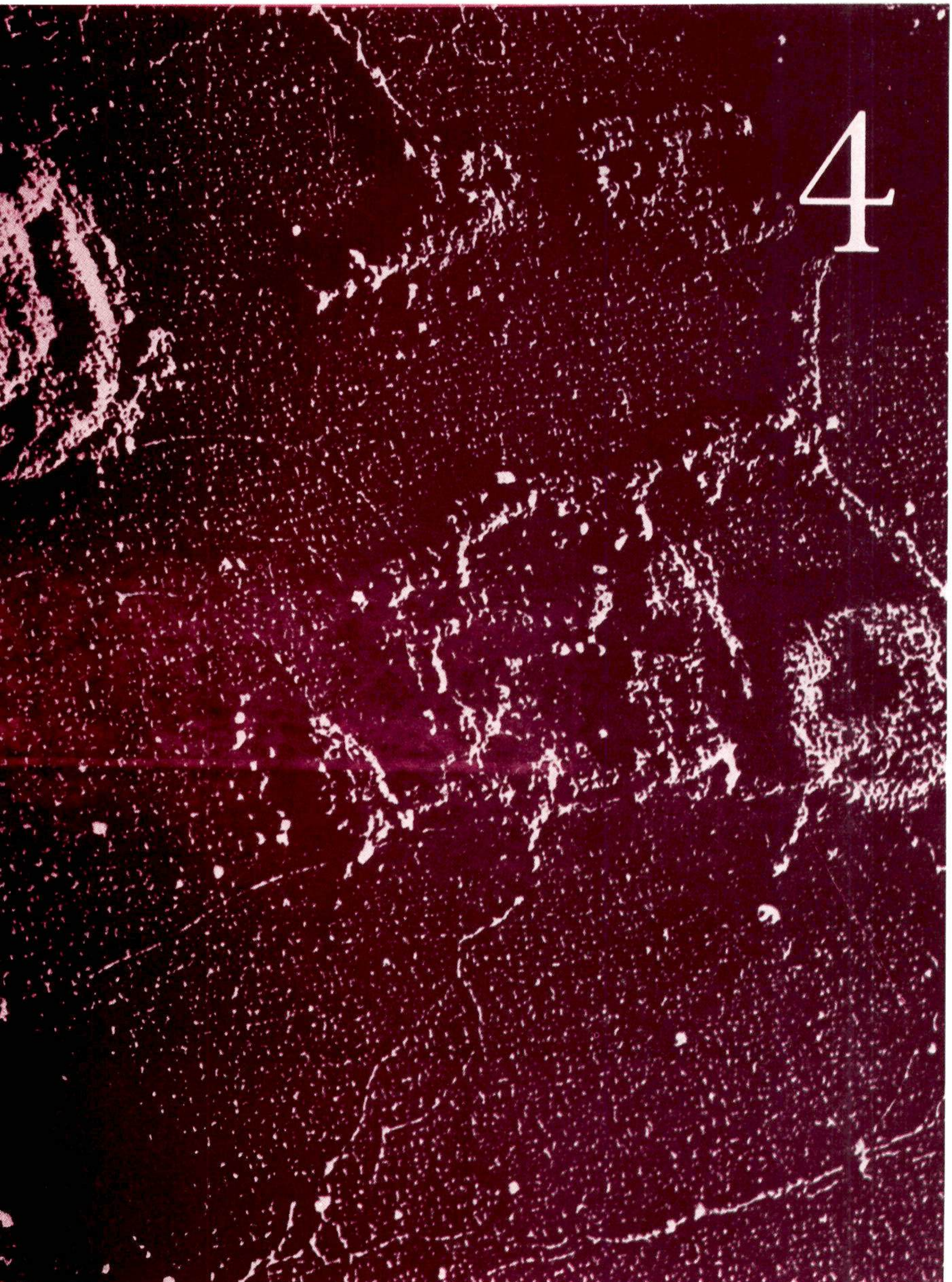
9 ـ وجود جدار خلوي حقيقي هو أحد مميزات الخلايا النباتية عن الخلايا الحيوانية . والجدران التي توجد بين الخلايا في الأنسجة الطرية تتألف من ثلاث طبقات ، في حين أن الجدران في خلايا الأنسجة الصلبة تتألف من خمس طبقات . وتتمثل الطبقات الثلاث في الأنسجة الطرية بالجدار الأولي ، وتضاف اليهما في الأنسجة الصلبة طبقتان من جدران ثانوية .

10 ـ اكثر مكونات جدار الخلية توفرا هو السليولوز بالاضافة الى مادتي البكتين واللجنين وأشباه السليولوز ومركبات أخرى غيرها . وتتألف المواد التي بين الخلايا غير الخشبية ، والتي لاتحتوي عادة على جدران ثانوية ، من البكتين ، أما الجدران الابتدائية فمن البكتين والسليولوز وأشباهه . وتتألف الجدران الثانوية بصورة رئيسية من السليولوز ، كما تحتوي في العادة على نسبة عالية من اللجنين وأشباه السليولوز . وتحتوي الطبقة البينية والجدران الابتدائية في الخلايا الخشبية على اللجنين أيضا ، ويوجد السليولوز في الجدار الخلوي على هيئة خيوط طويلة تدعى باللويفات .

11 ـ ليست الفجوات الا مناطق موجودة ضمن السيتوبلازم ، مملوءة بعصير خلوي غير حي يحوي داخله مواد كثيرة ومتنوعة ، ومن بينهما صبغات الانثوسيانين . وهذه الصبغات مسئولة في اغلب الحالات عن الالوان الحمراء والزرقاء والارجوانية للأزهار والثمار وكذلك أوراق الخريف .

12 ـ تتجمع الخلايا في مجاميع لتكون أنسجة بسيطة وأنسجة مركبة . الخلايا البرنشيمية غير متخصصة ، وعادة ما تكون جدرانها رقيقة وتواصل حياتها بعد بلوغها .

المادة وميكانيكا الخلايا
The Matter and Mechanics of Cells


4

المادة وميكانيكا الخلايا

The Matter and Mechanics of Cells

تمثل الخلايا الوحدة الاساسية للحياة، ويمكن لمئات العمليات الحيوية أن تحدث فى خلية واحدة. فالنباتات والحيوانات تبدأ حياتها بخلية واحدة هى البيضة المخصبة. هذا وان العديد من الكائنات الحية كالبكتريا والطحالب الوحيدة الخلية تقضى حياتها كأحياء وحيدة الخلايا. وعلاوة على ذلك فمن الممكن لخلايا بعينها موجودة فى عضو من اعضاء نبات ناضج كالساق او الجذر، ان تنقسم فى مستنبت غذائى معقم لتكوين نباتات جنينية تتحول بدورها الى نباتات بالغة . كل هذا يعطى الدليل على ان كل خلية تحوى المواد الوراثية المطلوبة للتطور الطبيعى، وكذلك لاجراء جميع التفاعلات لتكوين نبات ناضج (الفصل - 14).

واذا مانمت الخلية وحدها أو كانت ضمن الكائن الحى المعقد فإن نشاطها وتطورها يكون متعدد الجوانب ومعقدا بنفس الوقت، والى سنوات قليلة خلت، كانت هذه النشاطات وتلك التطورات من الامور المتعذر فهمها. ولكن علم الاحياء الجزيئى الذى بدأ مع بداية هذا القرن وتطور كثيرا فى السنين القليلة الاخيرة قد مكن من تجزئة التفاعلات التى تحدث فى الخلية ودراستها كل على حدة وفى بعض الاحيان أمكن اعادة هذه التفاعلات فى أنبوبة اختبار لدراستها بشكل مفصل.

لقد أكد علم الاحياء الحديث على وجهة النظر القديمة التى أشارت الى أن التفاعلات الجارية فى الكائنات الحية تتطابق فى الاساس مع التفاعلات الفيزيائية والكيميائية الجارية فى العالم غير الحى. وتكمن الصعوبة فى العدد الهائل من التفاعلات . التى تحدث فى نفس الوقت فى خلية واحدة، ومايترتب على ذلك من تأثيرات متبادلة بين هذه التفاعلات ولكى نقدر هذا التقدم العلمى حق قدره، علينا أن نتعرف أولا على بعض المفاهيم الاساسية المبسطة فى علمى الفيزياء والكيمياء. وعلاوة على الاهداف الرئيسية الضرورية فى العلمين المذكورين، يجب القاء الضوء على علاقتها مع مايجرى فى حياة النبات.

أشكال المادة Forms of Matter

الذرات: Atoms لقد أدرك اليونانيون منذ مايقرب من 2000 سنة مضت أن المادة، أى مادة، تتألف من دقائق صغيرة غير مرئية ومختلفة عن بعضها البعض باختلاف نوع المادة التى تتشكل منها. وقد سميت هذه الدقائق المفترضة بالذرات التى تعنى أجزاء غير قابلة للانقسام. وقد رسخ عالم الكيمياء الانجليزى جون دالتون John Dalton فى عام 1803 دعائم النظرية الذرية الجزيئية للمادة معتمدا فى ذلك

على الاسس الصوتية وتعتبر هذه النظرية مقبولة حتى يومنا هذا، اذ من المسلم به ان الكون يحوى على مركبات لاتحصى وانها جميعا تتالف من 105 نوعا من الذرات التى تمثل بدورها 105 من العناصر الكيميائية المعروفة بسبب وجود نوع واحد من الذرات خاص بكل عنصر.

ويشير الجدول (4ـ1) الى البعض من هذه العناصر الكيميائية الموجودة فى الطبيعة وهذه العناصر ضرورية جدا لحياة النبات الى جانب فوائدها الاخرى. ولقد وضع لكل عنصر من هذه العناصر رمز خاص ليسهل تداولها، وهذه الرموز على اساس التركيب الكيميائى للعنصر. وهى تمثل مختصرات لاسمائها الانجليزية او فى بعض الاحيان لاسمائها اللاتينية القديمة. فمثلا رمز الالمنيوم Al مختصر للاسم الانجليزى aluminum فى حين أن رمز كل من الذهب Au والبوتاسيوم K يمثلان مختصرين لاسميهما اللاتينيين aurum و Kalium على التوالى وليس لاسميهما الانجليزيين gold و potassium. ويمثل العمود الثالث من الجدول المذكور العدد الذرى الذى يشير الى الصفات التركيبية للذرات كما سنأتى على ذكرها فيما بعد. اما العمود الاخير من الجدول فيبين الوزن النسبى للذرات relative weight، عندما يكون وزن الكربون الشائع هو 12. ولقد اصطنع هذا الوزن بحيث يجنبنا الاشارة الى وزن ذرة الهيدروجين (أخف العناصر) برقم اقل من الواحد الصحيح. يحتوى الغرام الواحد من الهيدروجين الذرى على $6 \times 10^{(23)}$ ذرة، فى حين أن الوزن الحقيقى لذرة الايدروجين هو (1.673×10^{-24} غم). وبذا يكون حاصل ضرب الرقمين السابقين (عدد الذرات فى الغرام الواحدة × وزن ذرة الهيدروجين) هو غرام واحد تقريبا. اما العدد 6×10^{23} فيمثل عدد الذرات الموجودة فى غرام وزن ذرى gram atomic weight لاية مادة، وهو العدد الذى يستعمل عادة فى الحسابات الكيميائية. واذا مااتحدت ذرة واحدة من الكربون C مع ذرتين من الاوكسجين O لتكوين جزيء ثاني اوكسيد الكربون CO_2 فان وزن هاتين الذرتين هو : C12 + 32(2×16)O=44 وحدة من ثانى اكسيد الكربون. حيث يشكل الكربون $\frac{12}{44}$ أى 27.3٪ من وزن جزيء ثانى اوكسيد الكربون. اما الوزن 44 غراما فيمثل وزن ال(6×10^{23})جزيء من جزيئات ثانى اوكسيد الكربون. وعليه فان الوزن الجزيء بالغرامات gram molecular

جـــدول 4 ـ 1
العناصر الكيميائية التى يستخدمها النبــــات

اسم العنصـــر	الرمز الكيميائى	العدد الذرى	الوزن الذرى
الالمونيوم	Al	13	26-98
البورون	B	5	10.81
الكالسيوم	Ca	20	40.08
الكربون	C	6	12.01
الكلور	Cl	17	35.45
الكوبلت	Co	27	58.93
النحاس	Cu	29	63.54
الذهب	Au	97	196.97
الهليوم	He	2	4.003
الهيدروجين	H	1	1.008
اليود	I	53	126.90
الحديد	Fe	26	55.85
اللورينيوم	Lw	103	257.0
المغنسيوم	Mg	12	24.31
المنغنيز	Mn	25	54.94
المولبيدنوم	Mo	42	95.94
النيون	Ne	10	20.18
النتروجين	N	7	14.01
الاوكسجين	O	8	16.0
الفسفور	P	15	30.97
البوتاسيوم	K	19	39.10
السليكون	Si	14	28.9
الصوديوم	Na	11	22.99
الكبريت	S	16	32.06
اليورانيوم	U	92	238.03
الزنك	Zn	30	65.37

weight أو مايسمى عادة بالوزن الجزيئى للمركب يدعى ايضا بالمول Mole. ومع أنه ليس هناك من شك فى ان العدد 6×10^{23} هو عدد هائل. الا أن وزن هذا العدد الهائل من ذرات الهيدروجين لايزيد عن 1.008 غرام وقطر كل ذرة لايتعدى الواحد انجستروم (A o) (الانجستروم = 1×10^{8} من السنتيمتر). لو افترضنا وجود 10^{8} ذرة من

الهيدروجين وعلى فرض ان هذه الذرات لاتتحد مع بعضها لتكوين H2 ثم صففناها الواحدة بجانب الاخرى فإن طول صف الذرات الناتج عن ذلك هو سنتيمتر واحد فقط، فى حين أن العدد 6×10^{23} من ذرات الهيدروجين لوصفت بنفس الطريقة الاولى لنتج عنها شريط طوله 37 الف مليون من الاميال.

تركيب الذرة: The Structure of the Atom

الذرة كما هو معروف الآن هى عبارة عن دقائق متناهية فى الصغر. لقد كشف العلم الحديث ان الذرة (التى لم تكن تقبل التجزئة بالمفهوم القديم) تتكون من أجزاء أصغر منها، علما بأن تقسيم الذرات يغير من طبيعتها الكيميائية وخواصها. وتتألف الذرات من ثلاثة اجزاء تكتسب أهمية كبرى بالنسبة الى تركيبها وكيميائيتها. وهذه الاجزاء هى البروتون Proton والنيوترون neutron اللذان يكونان النواة، بالاضافة الى وجود جسيمات صغيرة جدا ولكن ذات أهمية كبيرة تدعى بالالكترونات.

والبروتون عبارة عن جسيم كبير نسبيا يحمل شحنة كهربية موجبة. اما عدد البروتونات التى تحويها الذرة فيعتبر صفه مميزة للاخيرة ويدعى بالعدد الذرى atomic number. ويختلف باختلاف نوع الذرة حيث يبدأ من واحد (وهو العدد الذرى للهيدروجين) ويستمر حتى 105 (وهو العدد الذرى لعنصر الهاهنيوم hahnium) والذى يمثل العنصر الاخير فى قائمة النظائر المشعة الاصطناعية. وللبروتونات شحنات كهربائية موجبة متعادلة مع الشحنات الكهربية السالبة لنفس العدد من الالكترونات. فمثلا ذرة الهيدروجين كما هو فى شكل (4ـ2) تحوى الكترونا واحدا يعادل شحنة البروتون فى النواة.

فى حين تحوى ذرة اللورنسيوم lawrnecium 103 من الالكترونات كما هو وارد فى جدول (4ـ1)، ويقل وزن الالكترون الواحد بمقدار 1800 مرة تقريبا عن وزن البروتون. وتحدد الخواص الكيميائية للذرات أساسا من عدد وترتيب الكتروناتها.

النوع الثالث من مكونات الذرة هو النيوترونات، التى لها نفس وزن البروتونات تقريبا، ولكنها بدون شحنة كهربية. ولهذا فانها تشكل احد الاجزاء الاساسية بالنسبة لوزن الذرة، فى حين أن تأثيرها على كيمياء الذرة قليل نسبيا. ويعتقد أن النيوترونات تساهم نوعا ما فى استقرار النواة. وتجدر الاشارة هنا الى ان الهيدروجين هو الوحيد من بين جميع العناصر الموجودة الذى يحتوى على النيوترونات.

النظائر: Isotopes

لكثير من العناصر ذرات مختلفة فى أوزانها الذرية بسبب التفاوت الحاصل فى عدد نيوتروناتها. ويطلق على هذه الاشكال بالنظائر. فالكربون، عنصر الفحم النباتى، والماس يمكن أن يحوى كل منهما ذرات بأوزان ذرية نسبية هى: 10 أو 11 أو 12 أو 13 أو 14 أو 15 أو 16 . ومن المهم هنا الاشارة الى أن جميع هذه الذرات وان اختلفت اوزانها الذرية فان لها 6 بروتونات و 6 الكترونات، لذا تعتبر كلها كربونا من الناحية الكيميائية. اما اختلاف أوزانها فيرجع الى التفاوت فى عدد نيوتروناتها الذى يتراوح بين 4 و 10. ويشار عادة الى النظير بواسطة رمز العنصر مع اضافة الوزن الذرى مكتوبا فوق الرمز من جهة اليسار. فمثلا الكربون الذى وزنه الذرى 12 يكتب ^{12}C وهو الكربون الشائع ويشكل أعلى نسبة من الكربون الموجود على سطح الارض (99٪) فى حين ان نسبة الكربون الثقيل C 13 = ^{13}C هى 1٪ اما الوزن الذرى للكربون الطبيعى فهو 12.01 وهذا يمثل الوزن المتوسط لهذين الناظرين. هناك الكربون 14 ^{14}C وهو نظير مشع radioactive isotope ويوجد فى الهواء بكميات ضئيلة جدا، ويتكون بتأثير الطاقة الغالية للاشعة الكونية cosmic radiation أو نتيجة للاشعاعات الناتجة من الانفجارات الذرية، كما أنه ينتج للاستخدام المختبرى فى المفاعلات الذرية atomic reactors وتمثل الكربونات المتبقية ^{16}C، ^{15}C، ^{11}C، ^{10}C، نظائر تنتج اصطناعيا ويبطل نشاطها الاشعاعى خلال دقائق معدودة او حتى ثوان، ولذلك فهى قليلة الاهمية ومن المعروف ان هذا التصرف الاشعاعى ناتج عن عدم توازن النواة بسبب وجود عدد قليل جدا او عدد كثيرا جدا من النيوترونات.

ان الكربون المشع ^{14}C الذى يحتوى على نيوترونين اضافيين يتحلل ببطء شديد للغاية. ويقصد بنصف عمر half life النظير المشع، الفترة اللازمة لتحلل نصف ذرات المادة المشعة. وتقدر المدة اللازمة لتحلل نصف ذرات الكربون المشع ^{14}C بـ5700 سنة، حين تتحول الى ذرات نيتروجين باعثة الكترونات ذات طاقة منخفضة نسبيا، ويمكن قياس هذا التفاعل فى المختبر ويستغل فى معايرة التحاليل الدقيقة لمركبات تحوى مقادير ضئيلة جدا من ^{14}C. وهكذا تعتبر النظائر وسيلة ذات اهمية كبيرة فى دراسات الكيمياء الحيوية للنباتات والحيوانات.

ويرجع سبب اضمحـــلال النشـــاط الاشعـــاعى للكربون المشع ^{14}C الى تفكك احد نيوتروناته الى الكترون وبروتون. حيث يبقى البروتون فى النواة بينما ينبعث الالكترون أى يحذف الى خارج الذرة، ويمكن قياسه بواسطة عداد جيجر Geiger اما الكربون الحاوى لستة بروتونات وثمانية نيوترونات فيتحول الى نيتروجين بـ7 بروتونات و7 نيوترونات اى $^{14}_{6}C \rightarrow ^{14}_{7}N$ اما الالكترون المفقود فيعوض من المحيط الخارجى.

الذرات والجزيئات: Atoms and Molecules

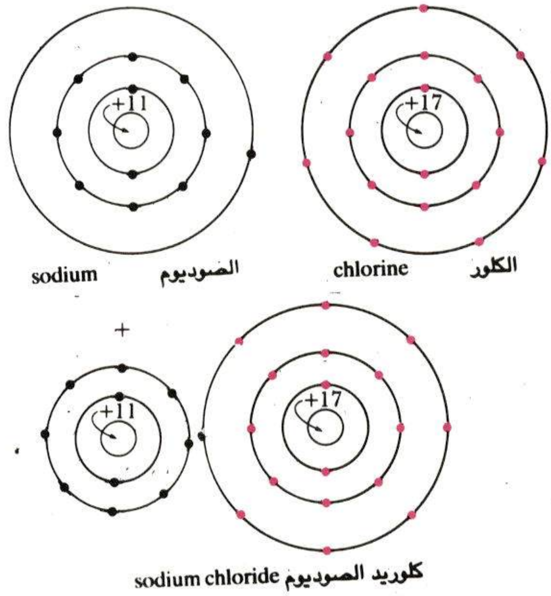
تتالف الذرات اعتياديا من أنوية تحوى عددا يميزها من البروتونات الموجبة الشحنة، واحيانا تحتوى ايضا على عدد متغير من النيوترونات غير المشحونة، محاطة جميعها بالكترونات صغيرة جدا ذات شحنة سالبة ومساوية عادة فى عددها لعدد البروتونات. تتجمع الالكترونات فى مستويات او مدارات حول الانوية، ماعدا الهيدروجين والهيليوم (helium (He) فيشكلان مجموعة مستقلة تتميز باحتوائها على مدار واحد يحوى الكترونا او اثنين. وللذرات عدد من المدارات يتراوح بين 2 ـ 6 أو 7 مدارات يحوى كل مدار منها الكترونا واحدا كحد أدنى و 32 الكترونا كحد أقصى. ويكون المدار الخارجى لاغلب العناصر مملؤا ومستقرا باحتوائه على ثمانية الكترونات ولايحتوى على اكثر من ذلك. كما أن الغازات الخاملة، كالهليوم والنيون neon (Ne) لها مدارات خارجية مملؤة، ولهذا فهى اعتياديا لاتتفاعل لتكوين الجزيئات. اما الذرات الاخرى فتميل الى أن تتحد كل ذرتين او اكثر لتكوين الجزىء. وربما يكون تكوين الجزيئى بسيطا كما فى حالة اتحاد ذرتين من غاز الهيدروجين لتكوين جزيئة (H_2). وقد يكون معقدا كما فى حالة جزيئى البروتين الكبير والذى يحتوى على الالاف من ذرات الكربون والهيدروجين والاوكسجين وذرات اخرى فى بعض الاحيان. ان القوى التى تمسك الذرات سويا لتكوين الجزيئات تدعى بالاواصر الكيميائية chemical bonds. ومثل هذه الاواصر تكون فى الاصل على نوعين، الاواصر الايونية ionic ثم الاواصر التساهمية covalent، بتداخل مختلف فيما بينها، هذا بالاضافة الى آصرة ضعيفة خاصة special week bond تعرف بالآصرة الهيدروجينية hydrogen bond .

الأواصر الايونية: Ionic Bonds

فى الآصرة الايونية النمطية ينتقل الكترون او اكثر من احدى الذرات ليصبح جزءا من الذرة الثانية وتصبح الذرة موجبة الشحنة بعد انتقال بعض من الكتروناتها الى ذرة أخرى، وذلك بسبب وجود عدد زائد من بروتوناتها موجبة الشحنة اكثر من عدد الكتروناتها السالبة. اما الذرة التى انتقلت اليها الالكترونات فانها تصبح سالبة الشحنة بسبب الالكترونات الاضافية. وتتماسك الذرتان المذكورتان بفعل قوة الجذب الالكتروستاتيكى electrostatic بين شحنتيهما.

إن جزىء كلوريد الصوديوم (NaCl) أى ملح الطعام هو مثال جيد على الآصرة الايونية (4ـ1) فذرة الصوديوم تحوى الكترونا واحد فى مدارها الثالث (الخارجى) بينما تحوى ذرة الكلور سبعة الكترونات فى المدار الخارجى. وبانتقال الالكترون من الصوديوم الى ذرة الكلور يفرغ المدار الخارجى للصوديوم من الكتروناته، حيث يحل محله المدار الثانى المستقر والذى يمثل الآن المدار الخارجى وهو يحتوى على ثمانية الكترونات، السعة القصوى لهذا المدار. كما أن ذرة الصوديوم بفقدها الكترون من مدارها الخارجى تصبح ذات شحنة موجبة Na^{+}, اما الكلور فيصبح فى مداره الثالث ثمانية الكترونات بعد انتقال الالكترون من ذرة الصوديوم اليه وبذلك يصبح مستقرا وذا شحنة سالبة، ويمثل ايون الكلور السالب C^{-} يترابط الايونان لتكوين جزىء الملح بواسطة

مايسمى بالآصرة الالكتروستاتيكية electrostatic bond لشحناتهما الموجبة (+) والسالبة (−) وينظر خطأ الى ظاهرة تأين كلوريد الصوديوم فى المحلول على أنها حدثت فى الماء، وفى الحقيقة فان جزىء الملح متأين من ذاته، ولكن الايونات تكون منجذبة فيه، السالب الى الموجب الى ان يذوب الملح فى الماء تنفصل عن بعضها. ويتسبب الماء فى فقدان حوالى 99٪ من قوى التجاذب هذه، ومن ثم تنفصل الايونات عن بعضهما فى المحلول.



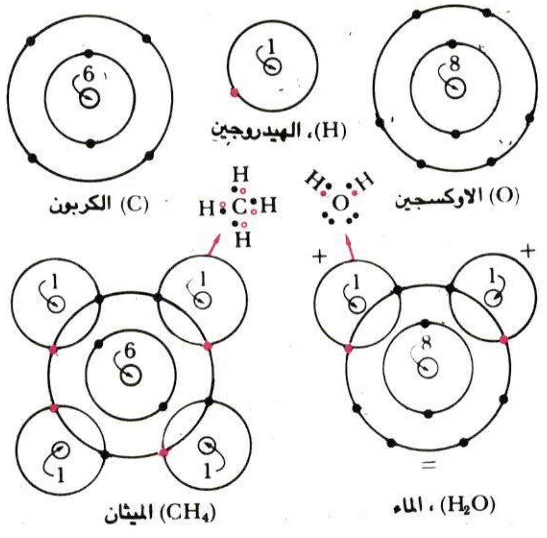
شكل (4 ـ 1) نموذج فلكى للآصرة الايونية لجزىء ملح الطعام (Na Cl)

يستحوذ الكلور على الكترون الصوديوم الاحادى التكافؤ فى المدار الخارجى . كما يترابط الالكترونان الآخران بالقوة الكهروستاتيكية الكامنة فى شحنتيهما الموجبة (+) والسالبة (−) .

الأواصر التساهمية Covalent Bonds

تتكون الأواصر التساهمية من الجزيئات العضوية ذات الأهمية الكبرى ، لنا ، وكذلك فى المركبات الأخرى خاصة العناصر اللافلزية ، عن طريق المشاركة فى الالكترونات ، والتى تصبح فى حقيقة الامر جزءا مشتركا لكلتى الذرتين . فعند ملاحظة الأواصر التساهمية للميثان أو الغاز الطبيعى CH_4 كما هو موضح فى شكل (4 ـ 2) ، نرى أن للكربون اربعة الكترونات فقط فى مداره الخارجى ، ولذلك يحتاج الى أربعة الكترونات اضافية لتكوين جزيىء مستقر . وبذلك تساهم اربع ذرات من الهيدروجين تحتوى كل منها على الكترون واحد بالكتروناتها فى ملء المدار الخارجى للكربون . وفى الوقت نفسه يمتلىء المدار الخارجى بالكترونين وذلك لان كل ذرة من الهيدروجين تشترك مع احد الالكترونات من ذرة الكربون . وينظر للالكترونات المشتركة بين ذرتين على انها تدور حول كلتى الذرتين وبهذا تساهم فى ترابط الذرات مع بعضها فى الجزىء .

وتمسك الأواصر التساهمية الهيدروجين والاوكسجين فى جزىء الماء H_2O كما هو موضح فى شكل (4 ـ 2) . حيث إن الاوكسجين الذى يحتوى فى مداره الثانى (الخارجى) على ستة الكترونات يشترك مع الكترونين لذرتى هيدروجين ، وبذلك يمتلىء مداره الخارجى بثمانية الكترونات . وفى نفس الوقت يساهم الاوكسجين بالكترون لكل ذرة هيدروجين ليتكون نتيجة



شكل (4 ـ 2) النماذج الفلكية للاواصر التساهمية covalent فى الميثان CH_4 O والماء (H_2O) لاتنتقل الالكترونات فى هذه الاواصر بل تتشاركها ويصبح الواحد منها داخلا فى تركيب ذرتين . تبين الاواصر التساهمية ايضا بواسطة رسوم ازواج الالكترونات (كما هو موضح فى الشكل الصغير المركزى)

لذلك اتحاد مستقر stable combination . والماء على كل حال ليس بالجزىء المستقر البسيط ، حيث ظهر بالتجربة أن جزىء الماء مرتب على شكل حرف V (شكل : 4 ـ 2) ، وأن الشحنة الكبيرة الموجبة لنواة الاوكسجين تجذب الكترونات الهيدروجين باتجاه الاوكسجين . وهكذا يصبح أحد طرف جزىء الماء سالب الشحنة (من جهة الاوكسجين) بينما يكون طرف الجزىء الآخر موجب الشحنة (من جهة الهيدروجين) ، ولهذا يسمى جزىء الماء بالقطبى polar . ومن ثم تتصل ذرات الهيدروجين لاحد جزيئات الماء بذرة الاوكسجين لجزىء آخر مكونة آصرة هيدروجينية وهكذا دواليك

الاواصر الهيدروجينية : Hydrogen Bonds

الأواصر الهيدروجينية هى أواصر الكتروستاتيكية ضعيفة ، وقوتها لا تزيد عن 5 ٪ من قوة الأواصر الايونية أو التساهمية . وبالرغم من ذلك فهى مهمة فى علم الاحياء بسبب تأثيرها على تركيب الكروموسومات والبروتوبلازم وعلى خواص الماء . وكنتيجة لطاقتها المنخفضة تصبح الأواصر الهيدروجينية سهلة التشكيل والتفكك . ولذلك تعتبر أواصر مثالية لأحوال الارتباط الوقتى بين الجزيئات مثلما يحدث فى البروتينات وفى أثناء مضاعفة الكروموسومات (شكل : 4 ـ 19) . والأواصر الهيدروجينية فى النباتات تربط ذرات كل من الاوكسجين والنيتروجين عن طريق ذرة الهيدروجين التى ترتبط بدورها مع احدى هذه الذرات بآصرة تساهمية . ويمكن أن يكون الازدواج كما هو مبين فى أى من هذه الاتحادات 0..H–0 أو N–H..0 أو N..H – N وفى هذه الحالة يشار إلى الآصرة الهيدروجينية مع الاوكسجين بالنقط وهى طويلة الى حد ما وأضعف من أى من الاواصر الكيميائية الأخرى . . .

إن الاواصر الهيدروجينية هى الغالبة فى الماء ويترتب عليها الكثير من خواص هذا السائل . وهذه الاواصر هى التى تربط هيدروجين أحد جزيئات الماء بأوكسجين جزىء آخر ، مكونة جزيئات بلمرية للماء وغير مستقرة ، وهى جزيئات مماثلة مثلا لمركبات البلمرة H_4O_2 و H_6O_3 . إن هذه التجمعات التى تتألف من جزيئات الماء البسيطة H_2O تتكون فى درجات التجمد والغليان ، وبسبب هذا التجمع المتكون فى جزيئات الماء البسيطة H_2O تأخذ حالات السيولة والتجمد بدلا من الحالة الغازية المتوقعة .

كما تتسبب الأواصر الهيدروجينية فى ازدياد كمية الحرارة المطلوبة لتسخين أو تبخير الماء ، كما تزيد أيضا من الحرارة المطرودة فى حالتى التبريد والتكثيف ، مما له اثر بالغ فى بيئتنا المحيطة . ويقدر أن ⅔ مجمل كمية الحرارة الضرورية لتبخير الماء المغلى يستخدم فى تكسير الأواصر الهيدروجينية للسائل وتتسبب الأواصر الهيدروجينية عند تجمد الماء فى تشكيل الجزيئات تركيبا بلوريا مفتوحا ، تتباعد جزيئاته أكثر من تباعدها فى الحالة السائلة ، ولهذا السبب يتمدد الماء (يزيد حجمه) بالتجمد ، وتصير كثافة الثلج اقل من كثافة الماء . إن تمدد الماء عند التجمد ينتج عنه انفجار أنابيب المياه ، وقد ينتج عنه أيضاً تفتيت الصخور وتحويلها إلى تربة . كما يطفو الثلج على النقيض من المواد الصلبة الأخرى التى تغطس فى سوائلها . وبفضل طفو الجليد فإن البحيرات والمحيطات لا تتحول الى كتل جليدية تحت ظروف الطقس البارد .

تحولات الطاقة وتخزينها : Energy Transformation and Storage

الاكسدة والاختزال Oxidation and Reduction

تحولات الطاقة فى الخلايا الحية تشمل فى العادة الأكسدة والاختزال . إن اصطلاح الأكسدة مشتق من تأثير عمل الاوكسجين وغالبا مايدور التفكير حول هذا العنصر عند ذكرنا للمصطلح . فالخشب الذى هو فى الأساس عبارة عن كربوهيدرات بتركيبه العام (CH_2O) يحترق عند اشتراك الاوكسجين فى التفاعل الذى يتمثل بالمعادلة التالية :

$$CH_2O + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O + \text{طاقة حرارية}$$

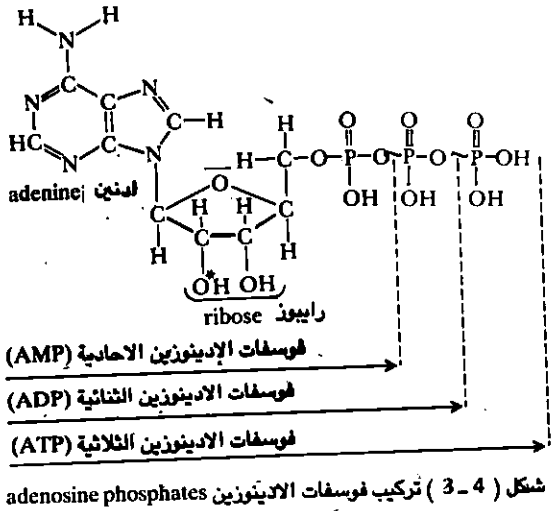
كما يمكن ألا تعتمد الاكسدة على الاوكسجين ، فمثلا يمكن أن يكون الكلور ، بالاضافة إلى عناصر أخرى ، من العوامل المؤكسدة القوية . ولذا تعرف الاكسدة أساسا بأنها فقدان للالكترونات . الاوكسجين والكلور يقومان بعملية الاكسدة عن طريق احد الالكترونات التى كانت تخص ذرات وجزيئات أخرى قبل العملية.الاكسدة عموما فى التفاعلات البيولوجية تحدث نتيجة لانتقال ذرات الهيدروجين مع الكتروناتها . فمثلا عند انتقال ذرات الهيدروجين من CH_2O فإن المركب سيتاكسد

الى اول اوكسيد الكربون (CO) وهذه الاكسدة الناتجة عن انتقال ذرات الهيدروجين موضحة فى الفصل 6 . وهى الاساس فى عملية التنفس .

والالكترونات لاتبقى طليقة ، بل تستحوذ عليها ذرات او مركبات اخرى ومن ثم يختزل هذا المركب . اما تعريف الاختزال فهو اكتساب للالكترونات . وعلى ضوء هذا التعريف فان الاختزال يصاحب الاكسدة فى كل تفاعل . كما ان الاكسدة والاختزال تحدثان تغيرات فى الطاقة بجانب التغير فى عدد الالكترونات . وهناك نوعان من تفاعلات الاكسدة والاختزال يقومان بتحويل الطاقة التى يمكن للخلايا الحية الاستفادة منها ، احد هذين التفاعلين ، ونعنى عملية البناء الضوئى (الفصل ـ 5) تستخدم طاقة اشعة الشمس لاختزال ثانى اكسيد الكربون واكسدة الماء ، كما ان قسما من اشعة الطاقة الشمسية يثبت فى السكر الناتج . اما النوع الآخر من التفاعلات فهو مايحدث فى عملية التنفس (الفصل ـ 6) ، اذ يتحول قسم من الطاقة الموجودة فى السكر الى طاقة كيميائية جاهزة للاستخدام او تخزن فى مركبات فوسفاتية خاصة .

مركبات تخزين الطاقة Energy Storage Compounds

إن إحدى أهم العمليات فى الكائنات الحية هى تكون مركبات خاصة تختزن فيها الطاقة الكيميائية المتوفرة بسرعة . هذا وقد تم التعرف على مجموعة من هذه المركبات ذات الطاقة العالية . وأغلب هذه المركبات تكون شبيهة بمركب ادينوزين ثلاثى الفوسفات ATP (Adenosine Triphosphate) ، المعروف جيدا والذى يمثل اهم مركبات هذه المجموعة . إن تركيب هذا الجزىء موضح فى شكل (4 ـ 3) ، إذ أن ذرتى الفوسفات رقم 2 و 3 تشكلان الجزء المهم لهذا الجزىء . ويمكن أن يعطى تحلل ذرات الفوسفات فى الماء الناتجة من 1 مول من الـ ATP (506 غرام) طاقة مقدارها حوالى 15000 سعر حرارى . ويتحول الـ ATP الى ادينوزين ثنائى الفوسفات adenosine diphosphate (ADP) ومن ثم الى أدينوزين أحادى الفوسفات monophosphate adenosine (AMP) ، علاوة على فوسفات لاعضوية ، وذلك خلال عملية التحلل المائى (التميؤ) hydrolysis . وتجدر الاشارة الى ان هذه المركبات توصف بالمركبات ذات الطاقة العالية – high energy compounds ، كما يشار إلى الأواصر التى تحمل الطاقة بالاواصر مرتفعة الطاقة high – energy bonds . يحمل مركب الـ ATP طاقة جاهزة فى تجمعات صغيرة وكثيرة للاستعمال السريع ، ويمكن ان تستفيد منها الانزيمات الخلوية فى عمليات التحول الغذائى metabolism التى تحدث داخل الخلية . ويوضح الشكل (4 ـ 3) المجموعتين الفوسفاتيتين اللتين تدخلان فى تركيب الـ ATP . ويتكون الـ ADP من الـ ATP اذا ما انفصلت مجموعة فوسفاتية عنه ، واذا ما ارتبطت مجموعة فوسفاتية مرة اخرى بجزىء الـ ADP فى تفاعل يدعى بتفاعل الفسفرة phosphorylation ، يتحول مرة اخرى الى جزىء الـ ATP والادينوزين احادى الفوسفات adenosine monophosphate (AMP) يمثل النيوكليوتيد nucleotide الذى يعتبر واحداً من المجاميع المهمة فى المركبات التى تتشكل من قاعدة نيتروجينية nit-rogen base وسكر خماسى ذرات الكربون entose ومجموعة واحدة من الفوسفات (شكل : 4 ـ 3) . وكما هو واضح فى هذا الشكل فان الادينوزين احادى الفوسفات هو احد النيوكيوتيدات الاربعة التى يتألف منها جزىء الـ RNA . كما أن هذه النيوكليوتيدات تدخل أيضا فى بناء الـ DNA (شكل 4 ـ 19) ماعدا غياب الاوكسجين (فى المكان المعلم بنجمة) فى مجموعة السكر الخماسى . أما النيوكليوتيدات



شكل (4 ـ 3) تركيب فوسفات الادينوزين adenosine phosphates . تعتبر فوسفات الادينوزين الاحادية (AMP) ، والثنائية (ADP) ، والثلاثية (ATP) المصدر الرئيسى للطاقة الكيميائية المتاحة فى الخلية

الاخرى فيمكن ان تكون مركبات فوسفاتية ذات طاقة مرتفعة ولكن بنشاط محدود .

الأدينوزين ثلاثى الفوسفات يتكون نتيجة لانظمة انتقال الالكترون electron transfer system فى كل من البلاستيدات الخضراء (الفصل ـ 5) والميتكوندريا (الفصل ـ 6) . ان الالكترون الناتج فى هذه الأنظمة ذات الطاقة المرتفعة high energy electron هو من الكوروفيل المضاء أو نتيجة لاكسدة السكريات وهو ينتقل خلال انظمة انزيمية خاصة حيث تستخدم طاقة الالكترون هذه فى تكوين جزىء الـ ATP من الـ AMP أو من الـ ADP باشتراك فوسفات غير عضوى . ونتيجة لذلك تتكون طاقة متداولة فى الخلية لتزويد مئات العمليات الحيوية التى هى بحاجة الى طاقة .

مادة الخلايا : The Matter of Cells

الخامات الموجودة فى الخلايا تتراوح بين تلك التى هى فى بساطة جزىء الماء وثانى اوكسيد الكربون وتنتهى بالاكثر تعقيدا وهى الصبغات والهرمونات والكربوهيدرات والبروتينات ومواد أخرى موجودة فى اقسام البروتوبلازم . ويمكن ان توجد هذه المركبات فى مختلف الاشكال والصور المعقدة .

يتصور علماء الفيزياء ان المادة توجد فى ثلاث صور : وهى الصلبة والسائلة والغازية . والمادة تتحول إلى اى من هذه الحالات فى ظروف مناسبة من الضغط والحرارة . فالماء عند الضغط الجوى العادى يتحول الى مادة صلبة عند تعرضه لدرجة حرارة أقل من الصفر المئوى (32 درجة فهرنهايت) ، والى غاز (بخار) عند درجة حرارة 100م° (اى 212ف°) أو أعلى منها . أما ثانى اوكسيد الكربون فيأخذ الصورة الغازية تحت الظروف العادية ، ويمكن أن يصبح سائلا معبأ فى اسطوانات للأغراض التجارية تحت ظروف الضغط العالى ، كما يصير صلبا (ويدعى بالجليد الجاف) عند درجة حرارة 79 تحت الصفر المئوى (ـ 100 ف) . ويتحول الحديد الى سائل (ينصهر) فى درجة حرارة 1535 م° (2795 ف°) ثم الى بخار عند درجة حرارة تقارب 3000 م° (5432 ف°) .

ونحن نصنف المواد دائما الى المواد الصلبة (كالحديد) والسائلة (كالماء) والغازية (كثانى اوكسيد الكربون) مهملين إمكانية تحولها إلى أى من الحالات الثلاث المذكورة لدى التغيرات المناسبة فى الضغط ودرجة الحرارة .

إن أغلب السوائل وكذلك بعض المواد الصلبة تكون متطايرة ، أى أنها تميل للتحول الى بخار من جراء الزيادة فى درجة الحرارة . فمثلا يتبخر الماء ببطء تحت الضغط الجوى العادى ودرجة حرارة الغرفة . ولكن لو رفعنا درجة الحرارة عن هذا الحد الى أن نصل إلى درجة أعلى من درجة غليانه فإنه يتبخر بسرعة فائقة .

والمواد يمكن أن توجد بشكل نقى ، كما يمكن أن توجد ايضا ممزوجة بصورة محاليل أوكغرويات . ففى المحاليل توجد الجزيئات او الايونات المنفردة للمادة المذابة solute مبعثرة من جزيئات مادة اخرى هى المذيب solvent ، مثال ذلك السكر او الملح المذابان فى الماء . يمكن من الناحية النظرية ان تكون جزيئات المذيب هى الاخرى صلبة او سائلة أو غازية . وتوجد الجزيئات فى المحاليل الغروية النمطية معلقة فى وسط ماعلى شكل مجاميع متلاصقة ، وذلك كالذهب فى الزجاج الياقوتى gold in ruby glass أو دقائق الطين العالقة فى الماء أو كالضباب فى الهواء . وسوف نناقش الغرويات فى نهاية هذا الفصل بشىء من التفصيل .

نظرية الحركة : The Kinetic Theory

خلال سنة 1800 نشأت فكرة أن الذرات والجزيئات هى فى حركة مستمرة ، وأن معدل هذه الحركة يعتمد على درجة الحرارة . ولقد وضّحت هذه الفكرة بادىء الامر سلوك الغازات وامتدت حتى شملت أخيرا كلا من السوائل والمواد الصلبة . وينصب جل اهتمامنا أثناء دراسة الكائنات الحية على تطبيق نظرية الحركة على الغازات والسوائل والمحاليل .

ان حركة الجزيئات فى هذه الانظمة هى حركة عشوائية. كما ان هذه الحركة لاتتوقف عند اى درجة حرارة تعلو الصفر المطلق (ـ 273م°) اى مايقابل (459.6ف°).

ويرجع السبب فى الحركة الى الطاقة التى تنتقل الى الجزيئات من المحيط الخارجى. ويظهر ان قسما من هذه

الطاقة يتحول الى طاقة حركية او طاقة حركة الجزيئات* ويتحرك الجزىء فى اى وقت فى خط مستقيم وبسرعة منتظمة، ولكن المسافة التى يقطعها تكون عادة قصيرة جداً ربما لاتزيد عن واحد من مليون من السنتيمتر ($\frac{1}{1000,000}$ سم) فى حالة الهواء، واقل بكثير فى حالة المحاليل نتيجة للتصادم الذى يحصل بين الجزيئات المتحركة. ويمكن ان يتسبب مثل هذا التصادم فى تغير اتجاه وسرعة الحركة على حد سواء. وعلى كل حال فان متوسط سرعة الجزيئات يبقى ثابتا اذا لم يحدث اى تغير فى درجات الحرارة.

وهناك دعم مادى للنظرية الحركية للمادة، الا وهو حركة براون Brownian movement ولقد لوحظت هذه الحركة لاول مرة من قبل العالم الانجليزى Robert Brown فى سنة 1828 عند دراسته لمعلق للدقائق الحبيبية لمستخلص حبوب اللقاح، حيث لاحظ تحت المجهر ان هذه الدقائق الصغيرة فى حركة منتظمة فى خطوط متعرجة. وقد امكن ملاحظة نفس هذه الحركة ايضا فى المختبر تحت المجهر فى محلول الحبر الصينى المخفف. ان الحركة البطيئة لدقائق الكربون ترجع الى طاقة حركة الكربون الخاصة به. اما بالنسبة الى التغيرات غير المنتظمة فى الاتجاه فترجع الى تصادم دقائق الكربون وغالبا ماتكون بسبب تصادمها مع جزيئات الماء. ويمكن ان تلاحظ هذه الحركة ايضا داخل بروتوبلازم الخلايا الحية، او فى البكتريا او الاجسام الدقيقة الاخرى. وتجدر الاشارة الى ان ملاحظة هذه الحركة فى البكتريا يجب التفرقة بينها وبين حركة البكتريا نفسها (شكل 4 ـ 20).

الانتشار : Diffusion كنتيجة مباشرة للحركة المستديمة لجزيئات الغازات والمحاليل، تميل الجزيئات الى الانتشار بالتساوى خلال الحيز الذى تشغله. فمثلا لو سكبنا مقدار ملعقة شاى من الامونيا على منضدة فى غرفة، فان رائحة الامونيا لاتلبث ان تنتشر فى كل ارجاء الغرفة، مما يدل على ان جزيئات الامونيا قد انتقلت بواسطة الانتشار، ويمكن تعريف عملية الانتشار بانها صافى حركة المادة net movement نتيجة للحركة المستقلة لايوناتها او جزيئاتها او دقائقها الغروية كل على حدة. ان جزيئات غاز الامونيا المتحررة من السائل تتحرك فى الهواء بحركة عشوائية نتيجة لتصادمها مع بعضها او مع جزيئات الهواء الذى لايمكن تجنبه . وسوف ينتقل قسم من هذه الجزيئات باتجاه سائل الامونيا المسكوب فى حين ان القسم الاخر ينتقل بعيدا عن هذه المنطقة، ولكن بسبب التركيز العالى قرب بقعة الامونيا المسكوبة (والتى تعنى عدداً اكبر من الجزيئات فى وحدة الحجوم)، فان عدد الجزيئات التى تنتقل بعيداً عن بقعة الامونيا اكثر من المتجهة نحوه. وتستمر هذه الحالة حتى يتساوى تركيز الامونيا فى ارجاء الغرفة، عندها تتوقف عملية الانتشار علما بان حركة الجزيئات تبقى مستمرة .

لو اسقطنا بلورة احدى الصبغات فى قدح زجاجى به ماء، فان انتشار جزيئات الصبغة سوف يتبع نفس القاعدة وهى الانتشار من التركيز العالى الى التركيز المنخفض.

ويستنتج على ضوء الامثلة الواردة اعلاه ان الانتشار يحدث عادة من المنطقة ذات التركيز العالى الى المنطقة ذات التركيز المنخفض، لنفس النوع من الدقائق وكما سوف نرى فان الاتجاه الذى يحدث فيه الانتشار يمكن ان يعتمد على عوامل مختلفة علاوة على التركيز.

وعملية الانتشار ذات اهمية كبيرة بالنسبة للخلايا الحية للنباتات والحيوانات. فالماء يدخل جذور النباتات وينتقل خلال الخلايا، ويفقد كبخار ماء بواسطة الانتشار، والغازات كالاوكسجين او ثانى اكسيد الكربون والاملاح ثم الغذاء الذى على شكل محلول يمكن ان تنتقل داخل الخلية او بين الخلايا ايضا عن طريق الانتشار .

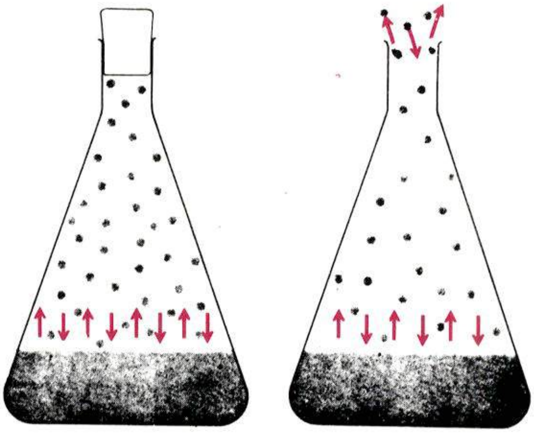
التبخر والتكثف: Evaporation and Condensation

لقد اوضحنا سابقا ان احدى الصفات العامة للسوائل هى قابليتها للتطاير كنتيجة لحركة الجزيئات فعندما تنتقل الجزيئات خارجة عن سطح السائل كما يحدث للماء مثلا تدعى هذه الظاهرة بالتبخر.

ان جزيئات الماء هى اصغر بالآف المرات من ان ترى بواسطة المجهر وعليه فيجب والحالة هذه ان نحاول تصورها. ففى الدورق المملوء جزئيا بالماء كما فى شكل (4 ـ 14) نرى ان جزيئات السائل هى فى حالة حركة عشوائية (كيفما اتفق) نشطة فى مسارات قصيرة وبسرعة متوسطة تزداد بازدياد درجة الحرارة ، ان هذه الحركة محددة بالمسافات البينية بين الجزيئات او بقوى التماسك بين جزيئات الماء كما تميل هذه القوى نحو منع او اعاقة الجزيئات من مغادرة السائل. ومع ذلك فان بعض الجزيئات يتحرك بسرعة اكثر من السرعة المتوسطة هذه، مما يكسبها طاقة حركة كافية للتغلب على قوى التماسك بين الجزيئات. فتفلت او تتبخر فى هواء الدورق . وبما ان الجزيئات التى تفلت من المحلول هى

---

* يدخل فى اعتبارنا هنا جزء من طاقة الجزيئات. طاقة الحركة الكلية للجزىء، او سرعته (الطاقة المبذولة فى تنقله translational energy) اما حركة الدوران وغيرها الجارية فى نظام الجزىء الواحد فلها تأثيرات اخرى.



شكل (4 ـ 4) تبخر الماء من دورق .

ا ـ عندما يكون الدورق مفتوحا يهرب عدد اكبر من الجزيئات من السائل فى صورة بخار ، ويزيد هذا العدد عن عدد الجزيئات الراجعة الى السائل .

ب ـ فى حالة الدورق المغلق تزيد نسبة تركيز جزيئات بخار الماء لحد ترجع بعده هذه الجزيئات الى الماء بنفس سرعة تبخرها .

الاسرع، وذات طاقة حركية اكبر فان متوسط الطاقة للجزيئات المتبقية تقل عما كانت عليه قبل التبخر. ان مستوى طاقة حركة الجزيئات هو الذى يحدد درجة حرارة الماء، وكل انخفاض فى مستوى طاقة الحركة يسبب انخفاضا فى درجة الحرارة سببه البخر. وهكذا فان التبخر يتسبب فى فقد السائل لقسم من حرارته، وهذا الفقد يجب ان يعوض من المحيط الخارجى فيما لو استمر التبخر بنفس المعدل.

وفى نفس الوقت الذى يحدث فيه التبخر فان قسما من جزيئات الماء المتبخر ذات الحركة النشطة يمكن ان يصطدم بسطح الماء ويصبح جزءا منه وهذا مايعرف بالتكثف وهو عكس التبخر. فاذا كان معدل مغادرة جزيئات اكبر من معدل رجوعها اليه، فان حجم السائل يقل، كما ان عملية التبادل تحدث ايضا بين الجزيئات فى داخل الدورق وبين جزيئات الهواء الخارجى ، وفى هذه الحالة عموما يكون عدد الجزيئات التى تتحرك خارج الدورق اكثر من التى تدخل فيه لاى فترة زمنية. ان هذا الانتشار لجزيئات الماء خارج الدورق يقلل من تركيز بخار الماء داخل الوعاء وبهذا يقل معدل التكثف ايضا. وبما ان التبخير يستمر بمعدل ثابت مع ثبات درجة الحرارة، فان حجم السائل فى الدورق يقل تدريجيا الى ان يختفى. اما اذا اغلق الدورق بفلينة كما فى شكل (4 ـ 4 ب) فان تركيز جزيئات بخار الماء فوق سطح السائل داخل الدورق سرعان مايصبح عاليا بدرجة يصير عندها معدل التكثف مساويا لمعدل التبخر. كما وان الهواء داخل الدورق يصبح مشبعا ببخار الماء، واذا ما وصلنا الى حالة التوازن بين معدل التكثيف ومعدل التبخر، يتوقف الانتشار وعندها يبقى حجم المحلول ثابتا بدون تغير.

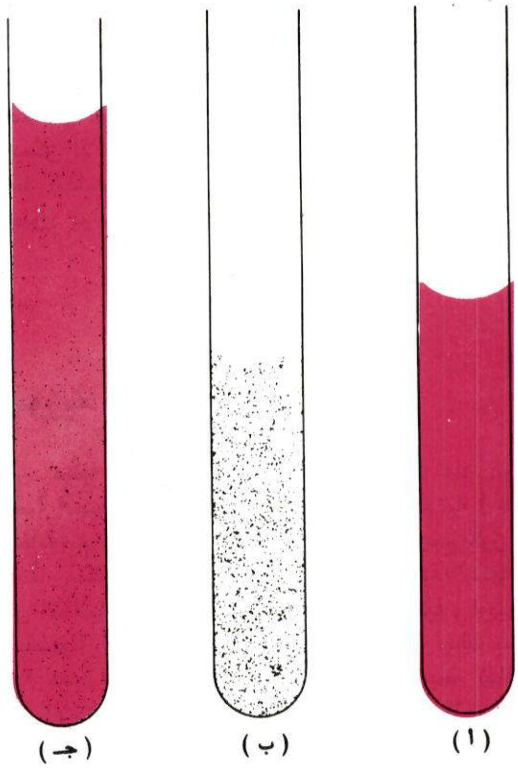
وهناك علاقة وثيقة بين تبخر الماء ودرجة الحرارة التى لها اهمية اساسية فى حياة النباتات حيث تزداد سرعة انتشار الجزيئات بارتفاع درجة الحرارة. وعلى العموم فان النسبة المئوية للانتشار تزداد بحوالى ثلاثة اضعاف عند ارتفاع درجة الحرارة 10 درجات مئوية (18 ف°) . ان معدل تبخر الماء على اية حال يزداد بحوالى 100٪ عند رفع درجة الحرارة بنفس المعدل. ويرجع هذا الفرق الملحوظ الى التناقص السريع فى قوى التماسك بين جزيئات الماء بازدياد درجة الحرارة، حيث انه عند تناقص قوى التماسك فان الجزيئات تتمكن بسهولة اكبر من الافلات وعليه يزداد معدل التبخر بسرعة.

ان تبخر الماء من النباتات الحية سوف يناقش فى الفصل ـ 8 ومن المفيد ان يذكر هنا ان التبخر يعتبر من اكبر العمليات الجارية فى النباتات، اذ تتعرض النباتات لفقد مقادير من مائها تعادل مئات المرات مقدار وزنها خلال فترة نموها. وان هذا الفقد غالبا مايكون عاملا مهما من العوامل التى تؤثر فى نمو النبات وبقائه.

الانتشار فى المحاليل Diffusion in Solutions

لقد اشير الى التركيز كعامل من عوامل الانتشار وبما ان تركيز الماء النقى هو 100٪ فان اختلاف تركيز الماء يحدث عن طريق تخفيفه. وكما يستعمل الماء فى تخفيف الاحماض والكحول والمحاليل الاخرى، يمكن استخدام الكحول وحامض الكبرتيك فى تخفيف الماء نفسه. ويمكن تخفيف الماء باذابة مواد صلبة فيه. ويزداد حجم الماء باذابة كمية من السكر فيه (انظر شكل 4 ـ 5) وتوضح الزيادة فى حجم السائل عن حجم الماء النقى ان الماء قد خفف باضافة هذا المذاب. وتعطى هذه التجربة على كل حال انطباعا فعالا بالنسبة لمقدار التخفيف، وذلك لان الماء المخفف يتناسب مع عدد جزيئات السكر المضافة وليس مع حجم الجزيئات الذى هو فى حالة السكر اكبر بمرات عديدة من حجم جزىء الماء.

ويخفف الماء باضافة السكر اليه وذلك لان بعض جزيئات السكر تحل محل جزيئات الماء وبذلك يصبح تركيز الماء فى



شكل (4 ـ 5) تخفيف تركيز الماء بواسطة سكر مذاب فيه . عند اذابة السكر (ب) فى الماء (ا) يأخذ المحلول (جـ) حجما اكبر ، وتقل فيه نسبة تركيز الماء .

المحلول السكرى اقل منه فى الماء النقى، ومن هنا يكون عدد جزيئات الماء التى تفلت من اى سطح انتشار الى الوسط المجاور ، اقل طبعا من حالة الماء النقى، وينتج ان جزيئات الماء لن تتبخر من المحلول السكرى او تنتشر من خلال غشاء منفذ بنفس السرعة التى تتبخر او تنتشر بها فى حالة الماء النقى (شكل 4 ـ 6) وكما هو واضح من الشكل (4 ـ 6)، نجد ان اتجاه الانتشار يحدد بواسطة نسبة التركيز، فجزيئات الماء تنتشر من منطقة التركيز العالى للماء باتجاه تركيزه الاقل، وان اضافة السكر الى الماء تعمل على تقليل تركيزه.

الضغط الانتشارى: Diffusion Pressure

لقد ناقشنا الانتشار على اساس حركة من التركيز الاعلى الى التركيز الاقل. وهناك عاملان اخران يمكن ان يؤثرا فى

شكل (4 ـ 6) توضح الاسهم البيضاء ان اتجاه انتشار الماء عبر الاغشية ، ربما يحدد بتركيز الماء ودرجة حرارته او ضغطه .

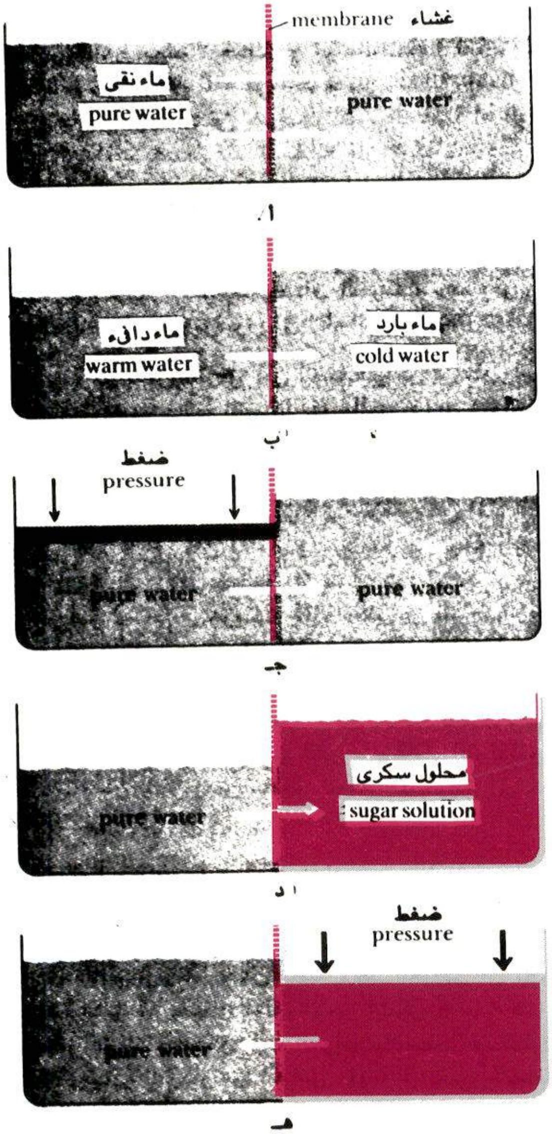
ا ـ محصلة الحركة تساوى الصفر ـ لاوجود للانتشار .

ب ـ يزيد ضغط الماء الانتشارى مع رفع درجة الحرارة ، حتى وان قلت نسبة تركيز الماء بالتمدد .

جـ ـ يزيد ضغط الماء الانتشارى بزيادة الضغط الميكانيكى .

د ـ انتشار الماء النقى فى الماء المخفف .

هـ ـ يمكن للضغط الميكانيكى ان يعكس تاثير التخفيف



اتجاه الانتشار ونعنى بهما درجة الحرارة والضغط (شكل 4 ـ 6) ولنبدأ بحوض مفصول الى قسمين بواسطة غشاء ذى نفاذية انتقائية differentially permeable membrane وقد مثل فى هذا الشكل بالخط العمودى المنقط، ان مثل هذا الغشاء يكون نفاذا لبعض المواد ومانعا او عائقا لمرور المواد الاخرى. والانظمة الغشائية الحيوية تسمح للماء بالنفاذ من خلالها بسرعة وسهولة، بينما تكون غير منفذة للمادة المذابة، او ان المادة المذابة تنفذ منها ببطء واذا ما تساوى كل من التركيز والحرارة والضغط على جانبى الغشاء فان جزيئات الماء سوف تنتقل خلال الغشاء فى كلا الاتجاهين بنفس المعدل، وعليه فسوف لايحدث اى انتشار للماء (شكل 4 ـ 6 أ) اما اذا تم تسخين الماء على احد جانبى الغشاء (شكل 4 ـ 6 ب) فان الماء الساخن سوف ينتشر باتجاه الماء البارد. وحيث ان الماء يتمدد عند تسخينه فان تركيزه سوف يقل بطبيعة الحال، وعليه فالمتوقع هو ان الماء البارد ينتشر داخل الماء الساخن. والذى يحصل هو ان ارتفاع درجة حرارة الماء يزيد من طاقة جزيئاته ويصبح تأثير زيادة الطاقة اكثر من تأثير فرق التركيز وعليه فان صافى الحركة سوف يكون من الماء الساخن (الاقل تركيزا) الى الماء البارد (الاكثر تركيزا).

اضافة الى عامل التركيز فان الضغط يمكن ان يقرر اتجاه الانتشار. ويظهر تأثير الضغط على الغاز بصورة واضحة بينما يكون تأثيره طفيفا على تركيز او حجم الماء. كما ان الضغط يزيد من طاقة جزيئات الماء. فاذا ماسلط ضغط على احد جانبى الغشاء الذى يفصل بين منطقتين من الماء النقى (شكل 4 ـ 6 ج) فان الماء سوف ينتشر من جهة الضغط الاعلى الى الجهة الاقل ضغطا وان سبب هذا الانتشار يرجع الى الزيادة فى طاقة جزيئات الماء اكثر من تأثير الزيادة الطفيفة التى تطرأ على تركيز الماء بسبب الضغط . فلو سلط ضغط كاف على احد جانبى الغشاء الذى يفصل بين محلول من السكر من جهة وماء نقى من الجهة الثانية (شكل 4 ـ 6 هـ)، نجد ان تأثير الضغط هو اكبر من عامل التركيز وان الماء ينتشر مرة اخرى من منطقة التركيز المنخفض الى جهة الماء الاكثر تركيزا.

لقد اصبح واضحا مما تقدم ان اتجاه الانتشار يتحدد ليس فقط بسبب التركيز ولكن ايضا بالحرارة والضغط. وان واحدا من هذه العوامل او اثنين منها او جميعها يمكن ان يؤثر فى الانتشار. كما يمكن ايضا لاحد العوامل ان يظهر تأثيرا معاكسا لما يظهره العامل الاخر (شكل 4 ـ 6 هـ) . ويصطلح على تأثير مجموع هذه العوامل بالضغط الانتشارى للمادة. ويعتبر التركيز من العوامل المهمة فى تقرير الضغط الانتشارى. ولكن ربما يكون لدرجة الحرارة او الضغط اهمية ولاسيما للماء . والان يمكن ان نوسع تعريفنا السابق للانتشار فنسميه بصافى حركة المادة من منطقة الضغط الانتشارى الاعلى الى منطقة الضغط الانتشارى الادنى للمادة. ان لجميع الغازات والسوائل ضغطا انتشاريا رغم انه يمكن الا يظهر بجلاء الا تحت ظروف معينة. فللماء مثلا ضغط انتشارى يمكن توضيحه متى مافصلنا بين الماء والمحلول بواسطة غشاء كما سيوضح فى الجزء التالى.

الانتشار فى الخلايا Diffusion in Cells

الازموزية: Osmosis

ان عملية الانتشار التى تهمنا خصوصا عند دراسة الانظمة الحية هى عملية انتشار الماء والمواد المذابة فى داخل كل خلية ثم بين الخلية والخلية المجاورة. ويرجع كون هذا الانتشار معقدا الى وجود الاغشية، ذات النفاذية الانتقائية . ضمن الخلايا. فانتشار الماء عبر الاغشية النباتية والحيوانية يتم بسهولة اكبر من انتشار المواد الاخرى ، وذلك بسبب نفاذية هذه الاغشية بالنسبة للماء وعدم او بطء نفاذيتها للمواد الاخرى الموجودة فى المحلول، وعليه فان الذى يحدث هو انتشار من نوع اخر يدعى بالازموزية. وتعرف الازموزية بانها انتشار الماء عبر الاغشية ذات النفاذية الانتقائية.

ويمكن توضيح العملية بواسطة غشاء يفصل بين منطقتين مختلفتين فى تركيز الماء نفسه (شكل 4ـ7) حيث يملأ انبوب تيسل thistle tube (ويسمى قمع تيسل أيضا) بمحلول من السكر تركيزه 25٪ ، ثم يغلق فوهة القمع بغشاء سبق غمره فى الماء ويربط ربطا محكما ، ويقلب الجهاز بوضعه فى الماء ، واذ ذاك نجد أن الماء ينفذ من خلال الغشاء وبسهولة أما السكر فانه ينفذ ببطء كبير . وكنتيجة لوجود جزيئات السكر ، التى تؤثر فى تخفيف الماء داخل القمع ، فإن تركيز الماء داخل القمع يكون اقل من تركيزه فى الخارج ، أى أن ضغطه الانتشارى فى الانبوبة هو أقل من الضغط الانتشارى لماء الدورق . وحقيقة الامر هى أن جزيئات الماء تمر عبر الغشاء فى كلا الاتجاهين ولكن خلال اى فترة زمنية محددة تكون جزيئات الماء التى تنتقل خلال الغشاء من الماء فى الخارج الى داخل القمع اكثر من تلك التى تنتقل فى الاتجاه المعاكس ونتيجة لذلك فان حجم المحلول داخل القمع يزداد وبذلك يرتفع الماء داخل ساق القمع . ان هذه الزيادة الحاصلة فى الحجم هى بسبب الضغط الانتشارى الاكبر للماء النقى

خارج الغشاء بالمقارنة بضغطه الانتشارى داخل القمع . أما اذا كان الغشاء غير نفاذ لجزيئات السكر بالكامل فان السائل يستمر فى الصعود فى الانبوبة الى أن يزيد الضغط المضاف داخل الغطاء عن الضغط الانتشارى للماء داخل القمع . ويتوقف عمود الماء عن الصعود فى الانبوبة عندما يتساوى الضغط الانتشارى للماء داخل القمع وخارجه .



شكل (4 ـ 7) استعراض الظاهرة الازموزية Osmosis .

ملأ قمع ثيسل جزئيا بمحلول سكرى واغلق بغشاء ذى نفاذية انتقائية نلاحظ انتشار الماء عبر الغشاء بما يرفع سطح المحلول السكرى إلى اعلى الانبوبة .

الضغط الانتفاخى Turgor Pressure

ان الازهار والاوراق تذبل اذا لم تغمس سيقانها بالماء بعد قطعها مباشرة وسبب الذبول هو تبخر الماء من خلايا الاوراق والازهار الذى بدوره يتسبب فى انهيار الخلايا . اما خلايا النباتات غير الذابلة فيمكن القول بانها فى حالة انتفاخ ثم ان الاوراق والازهار الذابلة تستطيع أن تستعيد حالتها الاولى اذا تم تزويدها بالماء من جديد .

وللوصول الى فهم كيف أن الخلايا تحصل على الماء او تفقده ، دعنا نتأمل خلية نباتية كالموضحة فى شكل (4ـ8) . إن جدار الخلية السليولوزى الذى لا يبدى إلا مقاومة ضئيلة أمام مرور الماء والاملاح يكون مبطنا من الداخل بغشاء ذى نفاذية انتقائية . والغشاء هذا يشكل بدوره الطبقة الخارجية للبروتوبلاست . كما توجد أغشية مماثلة لهذا الغشاء تحيط بالفجوة . والماء الموجود فى السيتوبلازم والفجوة يكون مخففا وذلك بسبب وجود السكريات ومواد اخرى مختلفة عضوية وغير عضوية . وبسبب هذا التخفيف فان الضغط الانتشارى للماء يقل ، لذا يميل الماء الى الانتشار داخل البروتوبلاست فى حالة وجود الخلية فى وسط مائى . والجدار السليولوزى يشبه غلاف كرة القدم من حيث مقاومته للتمدد والضغط (الذى يدعى بالضغط الانتفاخى) ، كما أن تكوينه يسمح للماء بالانتشار من خلاله . والضغط الانتفاخى يقوم بالدعم الميكانيكى لاغلب الازهار والاوراق وكذلك السيقان العصارية الفتية . وإن الانسجة التى تفقد كثيرا من الماء لا تقوى على الانتصاب فتذبل بسبب نقص الضغط الانتفاخى لخلاياها . أما الفروع الخشبية فانها لا تتأثر بالذبول لانها مدعومة بالجدران الثانوية لخلاياها .

ومما يجدر ذكره هنا هو أن الضغط الانتفاخى يزيد من الضغط الانتشارى للماء داخل الخلية ، بنفس الطريقة التى قد يؤثر فيها ضغط خارجى مسلط بنفس قيمة الضغط الانتشارى داخل الخلية . كما أن الضغط الانتفاخى يزيد من الضغط الانتشارى للماء داخل الخلية وبذلك يقل معدل انتشار الماء من خارج الخلية الى داخلها . وباستمرار نفاذ الماء الى داخل الخلية تستمر زيادة الضغط الانتفاخى حتى يصل الى حده الاعلى ، الذى يجدد بدرجة تركيز المذاب داخل

الخلية اى بمعنى درجة تخفيف الماء داخل الخلية) . وعند بلوغ هذا الحد الاعلى يتوازن الضغط الانتشارى داخل وخارج الخلية ، وبذلك يسبب ارتفاع الضغط الانتشارى داخلها بعد أن كان منخفضا بسبب تخفيف تركيز الماء بفعل دقائق المذاب . وبمعنى آخر فان الضغط الانتشارى للماء المخفف داخل الخلية قد اصبح الآن مساوياً للضغط الانتشارى للماء النقى خارج الخلية ، كما أن الخلية اصبحت مملوءة .

*** قوة امتصاص الماء : Water-Absorbing Power**

بما أن جميع الخلايا الحية تحتوى على دقائق ذائبة فإن الماء ينتشر الى داخل الخلايا الذابلة . وتملك هذه الخلايا قوة امتصاص للماء وذلك بسبب ان الضغط الانتشارى للماء داخل الخلايا اقل من الضغط الانتشارى للماء النقى . ولكن حالما يبدأ الماء بالانتشار داخل الخلية يبدأ فعل الضغط الانتفاخى حيث يؤثر على زيادة الضغط الانتشارى للماء داخل الخلية . ومتى ما وصل الضغط الانتشارى للماء داخل الخلية الى نفس مستوى ضغط الماء الانتشارى فى المحيط الخارجى ، فان انتشاره الى الداخل يقل بل ويتوقف نهائيا ، وعندما تمتلى الخلية تصبح قوة امتصاص الماء صفرا . وهذا موضح بالشكل التخطيطى (شكل 4 ـ 8) ويمكن توضيح العلاقة اعلاه بواسطة المعادلة الآتية :

قدرة الخلية على امتصاص الماء = درجة تخفيف عصير الخلية − الضغط الانتفاخى

turgor pressure (T) dilution of cell sap (D) water – absorbing power of cell (W)

حيث يمكن كتابة المعادلة كالآتى $W = D - T$
وهكذا فعندما يكون T مساويا الى الصفر فإن D=W وعندما يكون D=T فإن W تساوى صفر
ويجب ألا يغيب عن البال أن حركة الماء من خلية الى أخرى أو من محلول التربة الى الجذور أو من الاوراق الى المحيط الخارجى تعتمد على فرق الضغط الانتشارى .

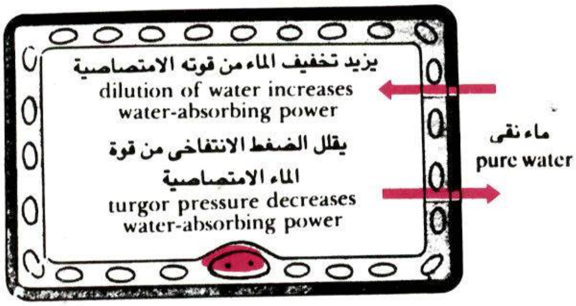
---

* يستعمل الكثير من علماء فسيولوجيا النبات مصطلح نقص الضغط الانتشارى diffusion deficit pressure للتعبير عن قوة امتصاص الماء ، ومصطلح التركيز الازموزى osmotic concentration للتعبير عن تخفيف العصارة الخلوية .

شكل (4 ـ 8)

قوة الماء الامتصاصية water – absorbing power .

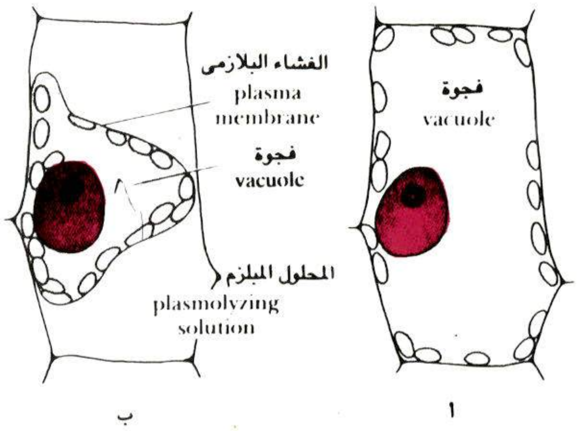
تعارض تأثيرات الضغط الانتفاخى انتشار الماء الى داخل الخلية بسبب تخفيف عصارات الخلية . عندما يتوازن الضغط الانتفاخى مع التخفيف ، تصبح الخلية ممتلئة . وبذلك تصبح قوة الماء الامتصاصية تساوى الصفر .



البلزمه : Plasmolysis

إن سبب حركة الماء الى داخل الخلايا هو أن عصيرها الخلوى يتألف من ماء مخفف بسبب وجود مجموعة من المواد الذائبة فيه . فلو استعيض عن الماء بوضع الخلية فى محلول سكرى مركز لظهر أن الماء ينتشر الى الخارج أكثر منه الى الداخل . وذلك لأن المحلول السكرى يمر من خلال جدار الخلية السليلوزى وما أن يصل الى الغشاء ذى النفاذية الانتقائية حتى تتوقف جزيئات السكر عند هذا الحد ، لان الغشاء لا يسمح بجزيئات السكر بالانتشار من خلاله . أما الماء فينتقل من التركيز العالى له فى داخل الخلية الى تركيزه الاقل فى الخارج . وبذلك فإن السيتوبلازم الذى كان ملاصقا لجدار الخلية نتيجة الضغط الانتفاخى يبدأ بالانفصال عنه (شكل 4 ـ 9 ب) . وظاهرة انكماش البروتوبلاست وانفصاله عن الجدار نتيجة لفقده كمية من الماء بسبب وجود الخلية فى وسط مرتفع التركيز بالمادة المذابة به ، تدعى بالبلزمة plasmolysis . وفى حالة نقل هذه الخلية المبلزمة من المحلول السكرى الى ماء نقى فان هذه الخلية ترجع الى حالتها الاولى وكذلك تستعيد ضغطها الانتفاخى بسبب انتشار الماء من جديد داخل البروتوبلاست ، ويتم هذا كله شريطة الا يحدث أى ضرر للغشاء من جراء البلزمة الزائدة عن الحد أو طول مدة البلزمة .

ويستدل على مدى نفاذية جدار الخلية للمحلول السكرى من خلال شكل الخلايا المبلزمة . فإن كانت المسافة بين جدار



شكل (4 ـ 9) البلزمة plasmolysis

ا ـ خلية عادية ب ـ خلية مبلزمة . انتشر الماء خارج البروتوبلاست الى المحلول المبلزم . وذلك الذى قد اخترق الجدار فقط ولم يخترق غشاء الخلية .

الخلية البروتوبلاست مملوءة بالهواء فان هذه المسافة سوف تظهر تحت المجهر على شكل حد فاصل ازرق اللون وهو صفة من صفات فقاعات الهواء تحت المجهر . أما اذا كانت مملوءة بالماء وحده فيستدل على ان الخلية سوف لا يحدث فيها بلزمة . ولذلك فان هذه المسافة أى فى حالة وجود فقاعات الهواء ، ستمتلئ بمحلول السكر (محلول البلزمة Plasmolyzing solution) أى ان الجدار منفذ للسكر .

وعن طريق البلزمة ايضا يمكن التثبت من موقع الغشاء البروتوبلازمي وخاصيته الانتقائية . إن الماء ينفذ خلال الغشاء بسرعة من والى خارج الخلية . فلو أن الغشاء كان منفذا لجزيئات السكر فإن حالة من التوازن فى التركيز سوف تحدث بين محلول السكر فى خارج وداخل الخلية ولنتج عنها امتصاص كميات من الماء . ولو استبدل محلول السكر بملح الطعام Nacl او بنترات البوتاسيوم (KNO_3) لحدث امتصاص تدريجي ولاستعادت الخلية ضغطها الانتفاخي بمرور الوقت . ولا تحدث البلزمة فى الخلايا الميتة بسبب التلف الذى يلحق بأغشيتها البروتوبلازمية . كذلك فإن البلزمة الزائدة أو الاستمرار فى البلزمة يتسببان فى موت الخلية . ومن نفس هذا المنطلق تضاف تراكيز عالية من الاملاح عندما يراد قتل بعض النباتات . فالمعاملة الثقيلة بالملح أو بمحاليل مركزة من الاسمدة تتسبب فى موت جذور النباتات عن طريق البلزمة (شكل 4 ـ 10) .

إن سلوك الخلية المبلزمة يمكن ملاحظته فى خلايا النبات الذابل حيث يلاحظ البروتوبلاست فاقدا لنشاطه ومنفصلا عن جدار الخلية ، وإن المسافة بينهما مملوءة بالمحلول المسبب للبلزمة الذى ينفذ بسهولة خلال جدار الخلية . أما فى خلايا النباتات الذابل فلا يوجد محلول يملأ هذه المسافة التى كان يشغلها البروتوبلاست من قبل . ونتيجة لذلك فإن الخلايا ذات الجدران الرقيقة كالجدران البرنشيمية تنكمش جدرانها مع البروتوبلاست . اما اذا كانت الجدران صلبة بدرجة كافية فانها لا تنكمش وتبقى محافظة على شكلها ، ولذلك فإن مثل هذه الانسجة لا تتأثر بالذبول كما يحدث فى حالة الانسجة ذات الجدران الرقيقة .

التشرب : Imbibition

بالاضافة الى الازموزية فإن عملية التشرب يمكن أن تشارك فى حركة الماء داخل النباتات . ويستخدم هذا الاصطلاح للتعبير عن امتصاص الماء من قبل السطوح الماصة كالسليولوز والنشاء . إن حركة الماء هذه الى الداخل يصاحبها انتفاخ أو امتلاء النسيج وزيادة فى الوزن . ومن أمثلة هذا التأثير ما يحصل للنشاء أو الجيلاتين عند اضافة الماء . كما أن زيادة حجم البذور عند نقعها فى الماء أو فى تربة رطبة وكذلك انتفاخ الفاكهة المجففة كل ذلك يرجع الى التشرب فى الدرجة الاساسية . وبسبب التشرب فان الابواب والشبابيك الخشبية يصعب غلقها خلال فترة الجو الرطب . وتميل الارضيات الخشبية أيضا الى التجعد بسبب تشرب



شكل (4ـ10) ذبول اوراق الطماطم بسبب الافراط فى اضافة سماد قابل للذوبان . (من اليسار الى اليمين) اضيف سماد فوسفات الامو نيوم بكميات غرام واحد ، 4.9 غرام ، 19 غرام ، الى اصيص نبات الطماطم .

سيليولوزها بالماء اذا كانت على اتصال مع تربة رطبة ، كذلك نجد أن الزورق الخشبى الجاف أو الحوض الخشبى اذا ما وضع فى الماء فان الماء يتسرب داخله ولكن بعد تشربه الماء لبعض الوقت ينقطع هذا التسرب نتيجة لانتفاخ الخشب من جراء تشربه للماء مما يساعد على غلق الفتحات التى كان قد تسرب منها الماء بادىء ذى بدء . ويمكن ان ينتج عن التشرب قوى هائلة . حيث يعتقد ان البناء بالحجارة بدأ منذ عصر ما قبل التاريخ ويعتقد ايضا ان الاحجار الكبيرة كانت تكسر عن طريق عمل ثقوب على شكل صفوف ثم تدق اوتاد من الخشب فيها ومن ثم يسكب عليها الماء ونتيجة تشرب هذه الاوتاد للماء يحدث فيها تضخم يكفى لاحداث تشقق هذه الصخور الكبيرة بشكل منتظم وبهذه الطريقة لا تحصل فيها أية بعثرة بخلاف ما لو كسرت بالتفجير .

عند الامتصاص الازموزى للماء من قبل الخلية ينخفض تركيزه وضغطه الانتشارى داخل الخلية بسبب تخفيفه بما يذاب فيه من مواد داخل الخلية . أما بالنسبة الى التشرب فلا علاقة له بالاغشية كما هى الحال فى الازموزية . ويحدث التشرب بسبب السطوح تحت المجهرية للمواد السليولوزية والنشوية والبروتينية والمواد الاخرى المحبة للماء التى تتمكن من الارتباط مع جزيئاته بقوة التجاذب . ولذلك فان هذه السطوح تكتسى بغلالات من جزيئات الماء متماسكة بشكل قوى بحيث تفقد فعاليتها فى عملية الانتشار مما يعطى المجال لانتشار وجبة اخرى من جزيئات الماء . ان هذا التأثير لقوى تجاذب الجزيئات على سطوح المواد الصلبة يدعى بالتجمع السطحى (الامتزاز) absorption . وينتج عنه زيادة فى التركيز مع نقص فى الضغط الانتشارى للجزيئات الممتزه . إن الاغلفة المائية المتكونة نتيجة للامتزاز تميل الى دفع سطوح دقائق المادة جانبا وبذلك تتسبب فى انتفاخ هذه المواد .

كما يمكن لسليولوز جدار الخلية أن يتشرب الماء فى حالة كون الخلية حية او ميتة . وإن الجدار على اقل تقدير يجب أن يتشرب كمية معينة من الماء قبل ان يستطيع الماء المرور من خلاله . وعند وضع البذور الجافة فى تربة رطبة تأخذ الماء عن طريق التشرب ، الذى يساعد على تنشيط الانزيمات التى تحول النشاء الى سكر ، وايضا يساعد فى استعادة نشاط الاغشية البرتوبلازمية . يعمل بعدها كل من التشرب والامتصاص الازموزى فى عملية انبات البذور . أما عند تكوّن البروتينات الجديدة فى الخلايا المرنشيمية فان كل جزئى منها سوف يمتز مئات من جزيئات الماء مما يساهم فى نمو الخلية . إن هذا النوع من التشرب غالبا ما يدعى بالتميىء hybration وهو مهم جدا خاصة فى الخلايا حديثة التكوين ، بينما يختص الامتصاص الازموزى فى تكوين الفجوات فى الخلايا الاقدم السريعة التوسع .

النفاذية : Permeabillity

ليس هناك من مشكلة تعترض معرفة فسيولوجية الخلية اكثر من وجوب تحديد طبيعة العمليات المعقدة لانتقال المواد من والى الخلايا الحية . وقد جذب هذا الموضوع انتباه كثير من الباحثين ولكن مع ذلك توجد جوانب عديدة لم تفهم جيدا بعد . من المشاكل التى اهتم الباحثون بدراستها : نفاذية أغشية الخلية . لقد برهنت مختلف التجارب والمشاهدات على أن الغشاء الذى يسمى بالغشاء البلازمى plasma membrane هو الذى يشكل حدود البروتوبلاست الخارجية (شكل 4 ـ 9 ب) ، وأن هناك غشاء آخر يحيط بالفجوة يدعى بالغشاء الفجوى vacuolar membrane ، ويعتبر هذا الغشاء أحد أجزاء البروتوبلاست وليس الفجوة ولهذه الاغشية تركيب هش للغاية ورقيق ويتألف كل غشاء من الدهنيات Lipids والمواد البروتينية . ويمكن أن تكون الدهنيات والبروتينات مرتبة إما على شكل ثلاث طبقات ـ طبقتين خارجيتين من الدهنيات وطبقة محصورة بينهما من البروتين ، او على شكل حبيبات بروتينية محاطة بالدهنيات ويختلف هذا النظام حسب نوع الغشاء . يرتبط مصطلح النفاذية بصفات هذه الاغشية التى تحدد سهولة مرور المواد من خلالها . فيمكن ان تكون غير نفاذة لمرور بعض المواد وتسمح بسهولة او ببطء بمرور مواد أخرى . وتشير تجارب البلزمة التى ذكرت فى شكل (4ـ9) إلى أن الاغشية الخلوية عموما تكون نفاذة للماء اكثر بكثير من السكر . والاغشية البروتوبلاستية النمطية من النباتات الراقية تسمح بمرور الماء بسهولة ، بينما تكون نفاذيتها لعديد من الاملاح بطيئة (يقصد بالاملاح هنا المتأينة) . والأغشية غير نفاذة بالكامل أو نفاذة جزئيا للسكريات والأحماض الأمينية ومركبات عضوية اخرى . فقد تبين أن أقراص البنجر الأحمر المغمورة فى الماء لاسابيع لا تنفذ أى كمية من صبغة الانثوسيانين التى فى خلاياها الى الماء ، إذا كانت هذه الخلايا صحيحة وغير متضررة .

أما فى حالة غمر هذه الاقراص فى ماء مغلى فان الصبغة الحمراء تنتشر الى الخارج بسرعة بسبب التلف الذى لحق بالاغشية من جراء وضعها فى الماء المغلى (شكل 4ـ11) . وعلى العموم فإن أى ضرر يصيب البروتوبلاست عن طريق السموم أو الحرارة أو التجمد أو الجفاف ينتج عنه ازدياد

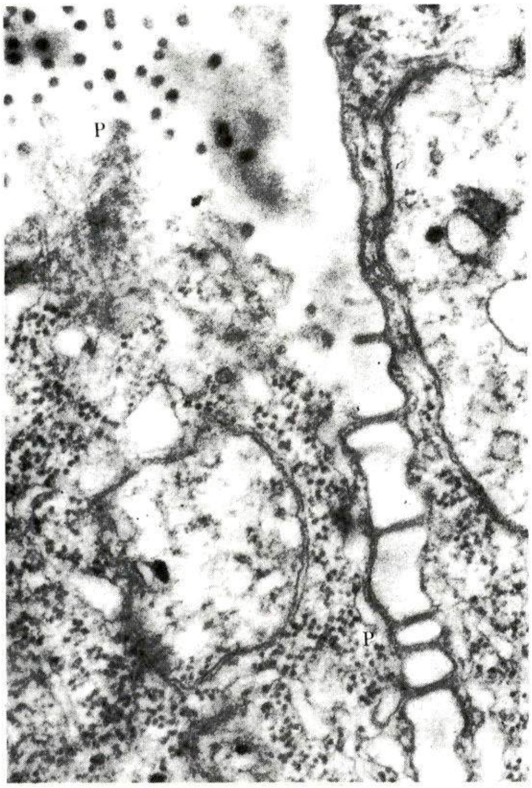


شكل (4ـ11) نفاذية اغشية الخلية .
(اليسار) اغشية خلايا البنجر الاحمر الحية تحجز صبغة الانثرسيانين anthocyanin داخل الخلايا .
(اليمين) بعد تحطيم الاغشية بالتسخين تنتشر الصبغة فى الماء .

نفاذية هـذه الاغشية . وهـذا هو المبـدأ المطبق فى استخلاص السكر من البنجر السكرى . ويحدث احيانا أن نجـد فى منطقة وسط الجـذر خلايـا سليمة لم تتضرر أغشيتهـا ولـذلـك تبقى محتفظة بالسكر المطلوب استخلاصه ولأجل احداث تلف عـام لكل اغشية الخلايا يتوجب رفع درجة الحرارة الى حد يكفى إلى مثـل هذا التلف . فى نفس الـوقت يجب التحكم جيدا فى درجـة الحرارة وعدم رفعها لدرجـات عاليـة خوفـا ألا يتسبب ذلك فى تحلل للبكتينات والمواد المشابهة ، ذلك أن هذه المواد تـدخل فى تركيب بلورات السكروز وان انحلالهـا بالحـرارة العاليـة يؤثر على قلة الناتج من السكر .

الروابط البلازمية : Plasmodesmata

لو أن أغشية الخلية كانت غـير منفذة للغـذاء حتى اذا كان مذابا فى المـاء فإن السؤال الـذى يطرح نفســه هو تـرى كيف ينتقل الغذاء بين الخلايـا . والجواب عـلى هذا السؤال هـو أن الخلايا المتجاورة ترتبط بواسطة خيوط بروتوبلازمية تربط بـين الخلايا عبر جدرانهـا من خلال ثقـوب غايـة فى الصغر . هـذه الخيـوط تسمى الروابط البـلازميـة (البـلازمـوديسمـاتـا) (والمفردبلازموديسما Plasmodesma) والاصطلاح مشتق من الكلمة اليونانية ديـزموس desmos والتى تعنى الآصرة او الرابطة . ويمكن للروابط البلازمية ان تتجمع فى مجـاميع وقـد تكون موزعة على سطح جدار الخلية (شكل 4ـ12) . إن هذه الخيوط البروتوبلازمية التى تربط بين الخلايا المتجاورة تكـون من الرقة بحيث لايمكن رؤيتها حتى باستعمال أعظم قوة لتكبير المجهر العادى الذى يستخدمه الطلاب فى العادة ، ولكن عموما يمكن رؤيتهـا بقـوة تكبـير أكبـر من ذلـك ، وبعـد أن تعـامـل بمعاملات خاصة . ويقدر قطر هذه الروابط بما لا يتجاوز 0.5 ميكـرون (الميكرون = 0.001 مم) ويمكن أن يكـون أقل من 0.1 ميكرون . ومع ذلـك فإن هـذه الروابط الصغـيرة هى أكبر بمئات المرات من الجزيئات النمطية ولهذا فان جزيئـات السكر وحتى جزيئات البـروتين الكبـيرة يمكن أن تنتشر من خلالهـا .



شكل (4ـ12) الروابط البلازمية (P) plasmodesmata التى تربط بين الخلايا المتجاورة للقمة النامية Shoot apex لنبات سيلاجنيلا امليانا (Selaginella ammeliana) (تكبير 4800) .
(الركن الايمن الادنى) قطاع طولى يوضح استمرارية اغشية البلازما خلال المسام (Ponas) الموجودة فى جدار الخلية .
(الركن الايسر الاعلى) : منظر سطحى للروابط البلازمية فى جدار الخلية .

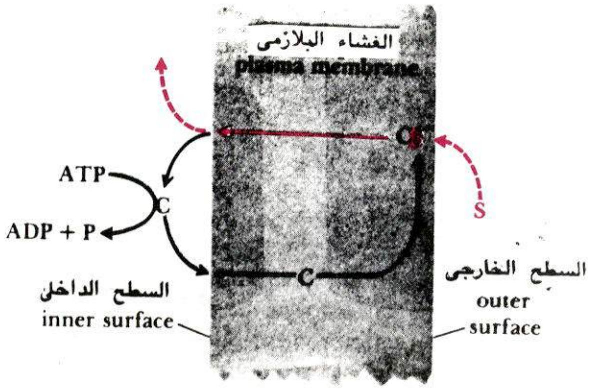
وتجدر الاشارة هنا إلى أنه بينما تربط هذه الاواصر بين سيتوبلازم الخلايا المتجاورة تبقى الفجوات معزولة بأغشيتها الفجوية .

ان وجود هذه الخيوط هو الذى جعلنا ننظر الى النبات المتعدد الخلايا كوحدة متكاملة وليس كمجموعة خلايا منفصلة . رغم ان الدور الذى تلعبه هذه الروابط بالنسبة للعمليات الحيوية للنبات لم يعرف بشكل كامل ، غير أن الشيء المعروف بشكل عام هو أن عوامل التحفيز يمكن أن تنتقل خلال هذه الروابط كما أن الانزيمات والاغذية يمكن ان تنتقل على شكل محاليل من خلية الى أخرى . أما عن الثقوب Pores الموجودة فى جدار الخلية فهى من الصغر بمكان بحيث لا تسمح لمكونات الخلية الكبيرة نسبيا كالانوية والبلاستيدات بالمرور . ويحتمل أن تكون أهمية الروابط البلازمية اكثر من كونها طريقا عاديا لمرور المواد العضوية بين الخلايا المتجاورة فى النبات . وليس من الضرورى عند دراسة حركة المواد خلال هذه الروابط التعرف على نفاذية أو عدم نفاذية سطوح الاغشية لأن عملية الانتقال بهذه الواسطة لا تعتمد على النفاذية .

النقل الفعال : Active Transport

يشكل الغلاف البلازمى والغشاء الفجوى حواجز امام المرور الطليق للايونات والجزيئات الى داخل الخلية ، أو إلى الفجوة . ومع ذلك فإن انتقال هذه الأيونات والجزيئات عبر الاغشية يتم باستخدام آليات مختلفة ، من بينها آليتا الانتشار والنقل الفعال .

يستخدم النقل الفعال الطاقة الناتجة عن التنفس فى عملية مراكمة الايونات او الجزيئات دون أن يحدث عليها أى تغيير ، ومن ثم نقلها الى داخل السيتوبلازم أو الفجوة فى ظل نسب تركيز داخل الخلية تكون أعلى عدة مرات منها فى المحيط الخارجى . ويمكن توضيح طبيعة هذه العملية الافتراضية فى شكل (4ـ13) حيث يعتقد أن الخطوة الاولى تكون فى ارتباط المادة المنتقلة التى تدعى بالاساس substrate (s) من مكان ما من السطح الخارجى للغشاء البلازمى . وعند هذه النقطة يرتبط الحامل carrier (c) ، الذى يحتمل أن يكون بروتينا خاصاً بالمادة المراد نقلها ، مع مادة الاساس حيث يكونان



شكل (4ـ13) رسم تخطيطى يوضح الآلية الافتراضية للانتقال النشط active transport . تتحد المادة المنقولة (S) مع المادة (C) وتحمل عبر الغشاء ، وتتحرر فى سيتوبلازم الخلية .

مركبا مؤلفا من الحامل ـ والاساس carrier – substrate complex (cs) . ونتيجة لان هذا المركب (cs) يتكون على السطح الخارجى للغشاء membrance فان ذلك يؤثر فى زيادة تركيزه مما يساعد على انتشاره عبر الغشاء باتجاه عامل فرق التركيز . وهناك يتحرر الاساس من على السطح الداخلى للغشاء داخل السيتوبلازم فى نفس المكان الذى يرتبط فيه مع مادة السيتوبلازم (مثال على ذلك ايون البوتاسيوم k^{+}) . أما الحامل فانه يتزود بالطاقة من جزىء ال ATP الموجود فى السيتوبلازم لينتقل الى السطح الخارجى للغشاء مرة اخرى عن طريق الانتشار حيث يمكن أن يعاود الكرة مرة أخرى . ومن المحتمل أن الاساس لا يتمكن من النفاذ عبر الغشاء أو يمكن أن ينفذ بنسبة ضئيلة لا تذكر مالم يرتبط مع جزىء الحامل . أما دور طاقة ال ATP الضرورية لعملية النقل الفعال فهو غير معروف . ولكن من الممكن ان تعمل على ربط مادة الاساس بالحامل .

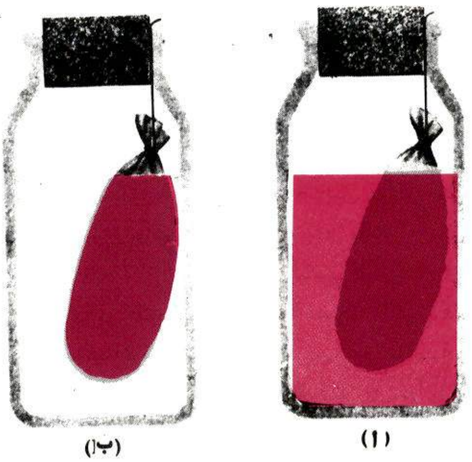
لقد درست ظاهرة النقل الفعال بشكل موسع فى الحيوانات وفى الأحياء الدقيقة . ويعتقد انه ذا أهمية كبيرة بالنسبة للبكتريا وكذلك لأنواع مختلفة من الخلايا والانسجة ، كالتى فى الجهاز الهضمى والكليتين . اما فى النباتات فإن النقل الفعال يمكن أن يقصد به تجمع او تراكم المواد داخل الفجوات

. ويتم هذا التجمع من خلال مرورها بطبقة السيتوبلازم واثنين من الاغشيــة همـا الغشــاء البـلازمى والغشــاء الفجـوى .

فالبوتاسيوم يتجمع فى الاعشاب البحرية بتركيز أكبـر مما هـو عليه فى ماء البحر بحوالى 30 مرة ، اما اليود فقد يصل تركيـزه الى 30000 مرة أكثر من تـركيزه فى مـاء البحر . وهـذا التجمع الكبير للمواد يحدث داخل الفجوة . وهنا نورد تجربة على نبات الشعـير تبين أيضـا التراكم الايـونى الكبير فى الفجـوة ، حيث تؤخذ هذه النباتات وتـوضع جـذورها فى محلـول يحتوى عـلى عنصر البروم المشع ، وتجرى التجربـة فى الظلام وفى محيط من الرطوبة العالية . يلاحظ فى ظل هذه الظـروف أن كميات كبـيرة من البروم المشع قد تجمعت فى الجذور فى حين لم ينتقل منها إلى قمة النبات إلا الجزء اليسير جدا بعد ذلك تغسل الجـذور برفق بالماء وتنقل الى محلول يحتوى على بروم عادى ، وتحت ظـروف تختلف على الظروف السابقة . حيث تعرض النباتـات الى ضوء ساطع وتحت ظروف جافة والذى نلاحظه هنـا هو أن ـ البـروم سينتقل وبسرعة الى قمة النباتات ويكون مقصـورا على البـروم العادى فى حين ان البروم المشع يبقى فى فجوات خلايا الجذور . يستدل من هذه التجربة عـلى ان النقل الفعـال الى الجذور يتم أساسا الى داخـل الفجوة حيث يبقى ضمن الفجـوة ولا ينتقل منه الى الساق الا الجزء اليسير .

الارتباط الكيميائى : Chemical Binding

إن تجمع المواد داخل الخلية لا يشترط بالضرورة أن يكـون نـاتجا عن النقـل الفعال . ولكن يمكن أن يكـون ايضـاً نتيجـة التفـاعـلات الكيميـائيـة فى الخليـة أو الفجـوة . كمـا أن من الصعـوبة التمييـز بين التـراكم الكيميائى وبـين التـراكم عن طـريق النقـل الفعـال . إن الارتبـاط الكيميـائى لـلايـونـات والجزيئات ضمن الفجوة يمكن ان ينتج عنه مواد غـير ذائبة أو مواد لا تنفذ من خلال غشاء الفجوة . هذا النـوع من التفاعـل يمكن توضيحه عن طريق تراكم اليـود داخل الكيس الغشـائى المملـوء بعجينـة النشـاء (شكـل4ـ14) ، اذ يعلق الكيس فى زجاجة مغلقة بسدادة تحتـوى على محلـول مخفف من اليود . فعنـدما ينتشر اليـود الى داخل الكيس يتكـون لون ازرق داكن وهو مزيج معقد من النشاء واليود يتجمع داخل الغشاء ونتيجة لذلك فإن المحلول الخارجى يمكن أن يفقد كل اليود الموجود فيه سابقا . وكمثال على التـراكم الكيميائى المـوجود فى الطبيعـة ،



(ب) (أ)

شكل (4ـ14) التراكم الكيميائى . لقد وضع غشاء مملؤ بالماء (أ) واخر مملؤ بعجينة نشوية (ب) ، فى محلول اليود المخفف . انتشر اليود الى داخل الغشاء الاول بما يوصل العملية الى الاتزان (أ) . اما فى (ب) فلقد تفاعل اليود مع النشاء ومن ثم انتزع من محلوله . وبالنتيجة انتشر كل اليود فى الاساس وتراكم فى داخل الغشاء (ب) .

عنددخول أيون النترات (NO_3^-) الى الخلية الذى يشتـرك فى عمليـة بناء الاحمـاض الامينية . وهكـذا يبقى تركيـز النترات داخل الخلية دون التركيز المطلوب . ويبقى امتصاصه من قبل الخلية مستمرا . أما الاحماض الأمينيـة فانهـا تمسك داخـل الخليـة أو تستخدم فى تكـوين مركبـات جـديـدة وبـذلـك يتم تجميعها .

الغرويات : Colloids

من الافضل استخدام مصطلح الأنظمة الغروية -Colloid al system بدل الغرويات فقط ، وهى على انـواع مختلفة ولكن مع هذا يمكن استخدام نفس المصطلحات العامة عند وصفها . فالدقائق الغروية التى هى أكبر حجمـا من الجزيئـات النمطية تـدعى بالطـور المنتشر dispersed phase فى حين أن الـوسط الذى تنتشر فيه هذه الدقائق يسمى بوسط الانتشار -dispers ing medium . فمثلا يكّون الماء والسكرمحلولاتكون جزيئات السكر مبعثرة فيه بين جزيئات الماء . كما أن الغراء من ناحيـة اخـرى يؤلف فى الماء نظـاما غـرويا فيـه المجاميـع المجهـريـة للجـزيئات الغـرويـة منتشرة فى المـاء . ويمكن اعتبـار الغـراء

glueنوعا من الغرويات ، والكلمة فى الحقيقة مشتقة من الكلمة اليونانية kolla التى تعنى الصمغ glue

ويسبب تجمع جزيئات الغروى فى مجاميع تحوى المجموعة منها من عدة مئات الى عدة ملايين من الجزيئات ، لهذا لاتتشابه تفاعلاتها الكيميائية مع تفاعلات المحاليل ، ولكن تحدث فيها تفاعلات من نوع خاص تعرف بمجموعها بكيمياء السطح surface chemistry . إن المجموع الكلى للسطح فى النظام الغروى يمكن أن يكون مثيرا للدهشة لسعته الكبيرة فلو اخذنا مثلا كرة صغيرة من الرخام أو الزجاج بمساحة سطحية مقدارها بوصة مربعة واحدة (حوالى 6٫25 سم^2) وفتتناها إلى أجزاء صغيرة مقاربة فى حجمها اصغر الدقائق الغروية فإن مساحتها السطحية سوف تزداد إلى أكثر من 6500متر مربع أو 10 مليون مرة أكثر من المساحة الاصلية .

الدقائق الغروية عادة تكون صغيرة حيث يتراوح قطر الدقائق النمطية منها من المليكرون الواحد (mu) الى 200 او 500 ملليميكرون . ودقائق الغرويات ترى بالكاد بالاستعانة بالمجهر الضوئى . فكرة قطرها 500 ملليميكرون تحتوى مثلا على الملايين من ذرات الكربون فى حين أن دقيقة كربون غر وية صغيرة لا تحتوى على أكثر من 300 ذرة كربون ، بينما نجد ان الوزن النسبى لهذه الدقيقة هو 3600 مرة أكبر من وزن الكربون (على اساس ان وزن ذرة الكربون 12) . وللمقارنة فقط نجد أن الوزن النسبى لجزىء صغير واحد من البروتين قد يصل إلى 36,000 بينما قد يصل وزن الجزىء الكبير منه إلى مئات الالاف . مثل هذه الجزيئات يمكن أن تكون محاليل حقيقية وفى الوقت نفسه تتمتع بصفات الغرويات بسبب حجمها واتساع سطحها . ويمكن للدقائق الغروية أن تكون بحجوم واشكال مختلفة ويمكن ان تكون دقائقها عضوية أو لا عضوية . ويعتبر الماء وسطا انتشاريا مهما ، ولكن يمكن ان تكون الدقائق الغروية ووسط انتشارها مواد صلبة أو سائلة أو غازية . ومن بين الانظمة الغروية التى لها أهمية حيوية نجد عصارة اشجار المطاط ثم غرويات التربة ، فكثير من دبال التربة soil humus ومجاميع كبيرة من طمى (صلصال) التربة تتألف من دقائق غروية ، وتوجد بصورة أغشية جيلاتينية رقيقة تغلف جسيمات التربة الاكبر حجما .

ان لغرويات التربة تأثيرا كبيرا على الصفات الفيزيائية والكيميائية للتربة ، وكذلك على خصوبتها أيضا . تتألف المستحلبات emulsions من محلولين غير قابلين للامتزاج كالزيت فى الماء أو الماء فى الزيت ومن أمثلة المستحلبات الحليب المتجانس والمرجرين (السمن الصناعى) والميونيزوالمستحضرات الطبية كاللسيونات والكريمات والمراهم .

ثبات الغرويات : Stabilization of Colloids

الدقائق الغروية الصغيرة لها القدرة على الحركة نتيجة لما تملك من طاقة حركية وبذلك تبقى عالقة فى المحلول ، ولا تترسب مطلقا أو يترسب منها الشىء اليسير . فلو تجمعت هذه الدقائق الصغيرة فى مجموعات اكبر فسرعان مايفقد الغروى قوامه . غير أن هناك سببين يحولان دون ذلك أولهما أن الدقائق الغروية مشحونة كهربائيا وبذلك تتنافر فيما بينها ، وثانيهما ان هذه الدقائق الغروية المنتشرة فى اغلب الغرويات محاطة بغلاف مائى بالتجمع السطحى مما يمنع هذه الدقائق من التلاصق . ويدعى مثل هذا النوع من الغرويات بالغرويات المحبة للماء hydrophilic . وتعمل الاغلفة المائية على حفظ الدقائق البروتينية من الالتصاق ثم التخثر coagulation وتتجلى اهمية الاغلفة المائية من خلال مايحصل لبذور الذرة عند تجفيفها بسرعة . فلو جففت بذور الذرة الطازجة بسرعة بعد حصادها لكان من الممكن قتلها حتى تحت درجة حرارة معتدلة اما فى حالة التجفيف التدريجى فان الماء الموجود فى البذور يمكن ان يفقد ومع ذلك تبقى البذور محتفظة بقابليتها للانبات . ومن المعتقد أن الاسراع فى التخلص من الماء الذى يغلف البروتينات الفعالة للبذور غير الناضجة يتسبب فى تخثر البروتين وبذلك تموت البذرة . أما فى حالة التجفيف التدريجى فيمكن ان تتكون اغلفة مشابهة لتلك التى تحويها البذور الناضجة تقوم بحماية جزيئات البروتين من التخثر عند التخلص من الماء .

تركيب السيتوبلازم : Structure of Cytoplasm

لقد كان السيتوبلازم يعتبر من الانظمة الغروية المعقدة . وقد تطور هذا المفهوم بعد التقدم الذى حصل نتيجة استخدام المجهر الالكترونى والتقنيات الاخرى واصبح من

غير الممكن الآن اعتباره مادة غروية كالجيلاتين . والسيتوبلازم يمكن ان يملك صفات فيزيائية كما للغرويات ، ولكن هناك صفات اخرى كثيرة غير موجودة فى الغرويات : كالتركيب والفعالية وكذلك العلاقات المعقدة بين الخلايا ، تلك العلاقات التى تشكل بدورها نظاما غير موجود فى الغرويات البسيطة . ويمكن دراسة السيتوبلازم على اساس التقسيم التالى : (1) العضيات Organelles (2) المادة السيتوبلازمية التى تحيط بالعضيات .

وعند دراسة العضيات الخلوية يمكن الاخذ بعين الاعتبار بما جاء فى الفصل ـ 3 ، مع التركيز هنا على الاغشية . ففى ابسط انواع الخلايا كالبكتريا مثلا يوجد غشاء واحد فقط هو الغشاء البلازمى . اما خلايا اغلب الكائنات الحية فتتصف بوجود عدد من الاغشية ، وان العديد من التفاعلات الكيميائية التى تحدث فى الخلية تكون متمركزة فى تراكيب محددة باغشية فى حين ان الاغشية التى تحيط بالانوية والميتوكوندريا والبلاستيدات تكون مزدوجة ومتوازنة فان اغلب العضيات الاخرى محاطة باغشية منفردة. وقد تحدث تغيرات مستمرة فى العديد من الاغشية نتيجة تهتكها وتكونها من جديد . وجدير بالذكر هنا ان الغشاء النووى الذى يظهر قويا ومتينا فى الطور البينى لانقسام الخلية الفتيلى يختفى ويعود للظهور بعد كل حالة انقسام .

ان وظائف بعض العضيات الخلوية معروفة جيدا ، بينما هى غير معروفة جيدا بالنسبة للعضيات الاخرى . وتلعب بعض عضيات الخلية ادوارا مهمة ومتعددة فى حياة الخلية . فالغشاء البلازمى Plasma Membrane مثلا لا تقتصر وظيفته فقط على تنظيم مرور المواد من والى الخلية ، بل ايضا يكون موقعا للعديد من العمليات الانزيمية . فالشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic reticulum هى نوع آخر من عضيات الخلية المنتشرة فى السيتوبلازم (شكل 4ـ15) وقد تتمزق هذه الشبكة ثم يعاد تجميعها وربطها من جديد . وهى بالاضافة الى انها تعمل كنظام للنقل ضمن الخلية فقد يكون لها شأن فى عملية تكوين الغشاء النووى والصفيحة الوسطى والروابط البلازمية . وتبدو احيانا وكانها امتداد لغشاء النواة الخارجى .

الدكتيوبومات : Dictyosomes (انظر شكل : 3ـ3) تم التعرف على وظيفتها اخيرا وهى مؤلفة من انواع مختلفة من



شكل (4ـ15) تركيب البروتوبلازم فى خلية منطقة القمة النامية من نبات السيلاجنيلا امليانا (Selaginella emmeliana) .
(E) الشبكة الاندوبلازمية ، (M) ميتكوندريا (N) النواة ، (W) جدار الخلية ، (R) الريبوسومات (تظهر كنقاط سوداء منتشرة فى السيتوبلازم (تكبير 44000) .

الصفائح المستوية والمنحنية ، وتوجد فى النباتات الراقية بعدد يتراوح بين 30 الى عدة مئات فى الخلية الواحدة . ويعتقد ان وظيفتها نقل وتجميع المواد للاحتفاظ بها فى محيط الخلية . ويصاحب الدكتيوسوم المنفرد تركيب يشبه البرعم - عبارة عن حوصلة Vesicle محاطة بغشاء . ويعتقد ان هذه الحوصلات تكون وتفصل النواتج وتحملها الى باقى اجزاء الخلية . والدكتيوسومات تظهر احيانا كانها استمرار للشبكة الاندوبلازمية .

الميتوكوندريا Mitochondria (شكل 4ـ15) يتراوح عددها فى الخلية من واحدة (فى بعض الاحياء الوحيدة الخلية) الى عدة الاف ، غالبا ما تكون فى حدود 500ـ800 فى الخلية الواحدة وهى مكونة من البروتين الذى يشكل حوالى 75٪ والدهنيات (اشباه الدهون) ومقادير ضئيلة من الاحماض النووية , وتنتج الميتوكندريا من انقسام سابقتها او تبرعمهما .

معظم الـRNA الموجودة فى السيتوبلازم يوجد ضمن دقائق صغيرة تدعى بالريبوسومات Ribosomes (شكل 4ـ15). وهى مؤلفة من الـ RNA والبروتين ولاتوجد لها أغشية مميزة، وتعتبر اصغر العضيات المعروفة، ويمكن أن تتواجد الريبوسومات فى مجاميع تدعى بالريبوسومات المتعددة,Polysomes مرتبطة مع بعضها بسلسلة منفردة من الـ RNA لا يقتصر وجودها فى السيتوبلازم بل يتعداه الى البلاستيدات الخضراء والميتوكندريا اما دور الريبوسومات فى حياة الخلية فسنناقشه فى الفقرة التالية .

الانيبيبات الدقيقة : Mictotubules يمكن ملاحظتها فى مرحلة الطور البينى ، حيث تتواجد بغزارة بمحاذاة الاغشية البلازمية للخلايا المرستيمية . ويعتقد انها هى التى تقرر اتجاه ومسار حركة السيتوبلازم الانسيابية ، وهى المسئولة عن تكوين الياف المغزل خلال اطوار الانقسام الفتيلى ، كذلك تشارك بدور هام فى تكوين الصفيحة الوسطى ، ويمكن ان تلعب دورا ما فى ترسيب جدار الخلية الثانوية وبدون شك فان لها وظائف اخرى .

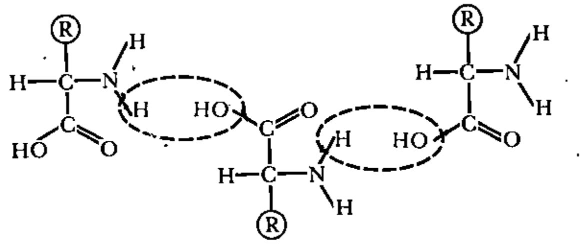
اما المادة السيتوبلازمية فتحتوى على الماء وانواع العناصر المذابة (العضوية وغير العضوية) وكذلك الاحماض الامينية والاحماض النووية ، ثم مواد حبيبية يمكن ان تتكون بشكل رئيسى من البروتين . وليس هناك ادنى شك فى حدوث التفاعلات البينية وتبادل المواد بين مادة السيتوبلازم والعضيات . ومع ان منظر المادة السيتوبلازمية تحت المجهر تبدو متجانسة الا انها فى حقيقة الامر على درجة عالية من التعقيد وغير متجانسة ، ويعتقد بانها تملك درجة عالية من التنظيم الذى لا يمكن تواجده فى النظام الغروى غير الحى .

ومع ان بعض النشاطات ضمن الخلية تكون متمركزة فى بعض العضيات او فى المادة السيتوبلازمية ، الا ان جميع مكونات الخلية تعمل فى توافق وتناسق تامين ، وان جميع التفاعلات تخضع لنظام منهجى محدد بسبب الانزيمات المتواجدة فى شكل حبيبات أو المرتبطة بالاغشية. وعليه فان الخلية تمثل نظاما ديناميكيا ومعقدا، وان مئات بل وربما آلاف الانزيمات تؤدى عملها بشكل متقن ومحدد وبشكل جماعى وبرقم واحد .

البروتينات : Proteins

لقد نوقشت الطبيعة العامة للبروتينات فى الفصل - 3 . وما جزيئات البروتين الا سلاسل طويلة من الاحماض الامينية مرتبطة مع بعضها عن طريق الاواصر الببتيدية Peptide bonds (شكل 4ـ16). وهى مثنية على نفسها مشكلة جزيئات حبيبية او جزيئات ليفية طويلة Fibrillar . يتراوح وزنها الجزيىء بين 13,000 و 500,000 او حتى اكثر (قارن بالوزن الذرى للكربون العادى وهو 12 فقط) اما الببتيد فله وزن جزيىء اقل ، حيث يتكون من حامضين امينيين او اكثر ، مرتبطة مع بعضها باواصر ببتيدية ويصطلح على السلسلة الببتيدية الطويلة بسلسلة الببتيدات المتعددة Polypeptide وان بعضا من هذه السلاسل تكون من الطول بحيث يمكن اعتبارها بروتينات .

ومن بين الانواع المختلفة من البروتينات يمكن تمييز الانواع التالية : (1) البروتينات التركيبية Structural Proteins وهى احدى مكونات البروتوبلازم . كما توجد بتركيز اكبر فى الاغشية حيث امكن التعرف عليها عن طريق المجهر الالكترونى . (2) بروتينات التخزين Storage Proteins توجد خاصة فى البذور (3) بروتينات الدهون Lipoproteins وهى ناتجة من اتحاد الدهنيات Lipids مع البروتين (وهى مكونات اغشية الخلايا). (4) البروتينات



شكل (4ـ16) تكوين الآصرة الببتيدية Peptide bond .
ترابط الاحماض الامينية مكونة جزيئات البروتين عن طريق الاواصر الببتيدية وذلك بالتخلص من جزيء الماء (H_2O) المحاط بدوائر . وتتكون بهذه الاصرة الببتيدية التساهمية للربط بين نيتروجين (N) حامض اميني والنهاية الكربونية لحامض آخر ، اما حرف (R) المعلم بدائرة فيمثل السلسلة الجانبية التخصصية التى تميز حامض اميني عن حامض اخر .

النووية Nucleoproteins وهى ناتجة عن اتحاد الاحماض النووية بالبروتينات . تتكون الكروموسومات من البروتينات النووية حيث توجد على شكل اشرطة مزدوجة من الحامض النووى DNA اساسا ، ومغطاة بالبروتينات وبالاضافة الى ان هذه البروتينات تقوم بوظائف عديدة فإنها يمكن ان تقوم بحماية جزيئات الـDNA من تأثير الانزيمات العاملة والتى يمكن ان تقوم بتجزئتها وتكسيرها فى حالة عدم وجود هذه البروتينات . (5) البروتينات الانزيمية Enzyme Proteins وهى تمثل انظمة العمل فى الخلية وقد خص هذا النوع من البروتينات باهتمام كبير .

البروتينات الانزيمية : Enzyme Proteins

الانزيمات عبارة عن عوامل مساعدة عضوية تزيد عدة مرات من سرعة حدوث التفاعلات الكيميائية وهكذا فان التفاعلات التى تجرى ببطء كبير والتى تعتبر من الناحية البيولوجية غير ذات فائدة تصبح بفعل الانزيمات جزءا من تفاعلات التحول الغذائى الخلوى . ان التأثير الانزيمى ينحصر فى التقليل من الطاقة الضرورية لتنشيط مادة الاساس Substrate . اما طاقة التنشيط فهى الطاقة الضرورية للجزىء حتى يتمكن من الاشتراك فى التفاعل ، وان التفاعل الذى لايمكن حدوثه نتيجة لنقص الطاقة المتوفرة يمكن حدوثه من خلال اشتراك نوع معين من الانزيمات مع مواد التفاعل . ويمكن التعويض عن تأثير الانزيم الذى ينحصر تأثيره من خلال التقليل من الطاقة الضرورية لتنشيط التفاعل عن طريق اشتراك الطاقة المخزونة من الـATP . المركب الناتج نتيجة اتحاد الانزيم مع الاساس هو مركب وسطى لا يلبث ان يتفكك ليعطى نواتج التفاعل والانزيم . تتأثر سرعة التفاعلات الانزيمية بعوامل عديدة كدرجة الحرارة والرقم الهيدروجينى PH وتركيز الانزيم والاساس واخيرا النواتج (نواتج التفاعل). كما تستطيع الانزيمات ان تؤدى دورها حتى اذا وجدت بتراكيز منخفضة جدا ، حيث يزداد معدل التفاعل بزيادة تركيز الانزيم الا اذا كانت هناك عوامل اخرى مؤثرة كالزيادة الحاصلة فى تراكيز النواتج او عوامل كابحة اخرى ويمكن ان يزيد ارتفاع درجة الحرارة من سرعة التفاعلات الانزيمية ماعدا تلك التى تعلو عن 50 ـ 60م° (122ـ140ف) فيمكن ان تسبب تلفا للانزيمات نفسها وبعض من البروتينات وعلى العكس فان انخفاض درجة الحرارة يبطىء من سرعة التفاعلات الانزيمية، كما يحدث فى العمليات الكيميائية الاخرى وسوف نتطرق فى الفصل ـ 6 الى التأثير العملى لدرجات الحرارة المنخفضة على التفاعلات الانزيمية فيما يخص نضج الثمار وصناعة الاطعمة وتفسخ الكائنات الحية عند موتها .

تخليق البـروتينـات : The Synthesis of Proteins

لقد اصبح واضحا للجميع بان انواع البروتينات خاصة الانزيمية منها والتى تنتج فى الخلية الحية هى التى تقرر الى حد كبير تركيب ونشاط الخلية او الكائن الحى المتعدد الخلايا . كيف تنتج هذه البروتينات ؟ وما هى خاصية طبيعتها ؟ توجد ادلة واضحة تشير الى توجيه نشاطات الخلية والتحكم فيها ما هو الا اشارات محمولة من قبل الجينات Genes التى تتشكل منها جزيئة الـ DNA وبصورة غير مباشرة تعمل هذه الجينات فى تنظيم وتقرير نوع وعدد الاحماض الامينية فى السلاسل الببتيدية المتعددة . وعليه فان النشاط الرئيسى للجين هو فى انتاج البروتينات التى هى فى معظمها انزيمات . وتقوم هذه البروتينات الانزيمية بالمقابل بالمساعدة على حدوث تفاعلات البناء الحيوية التى

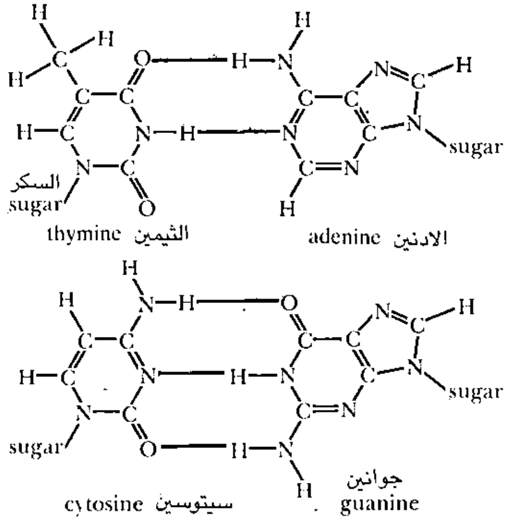
تستخدم نواتجها من قبل الكائن الحى نفسه او ان تصبح احد اجزائه . ويمكن ان ينتج عن اى اختلاف فى نشاط الجين تغير فى البروتينات المتكونة ، ويتبع ذلك اختلاف فى مظهر الانسجة او فى نوع التفاعلات التى تحدث فيها .

تركيب ووظيفة الـDNA Structure and Function of DNA

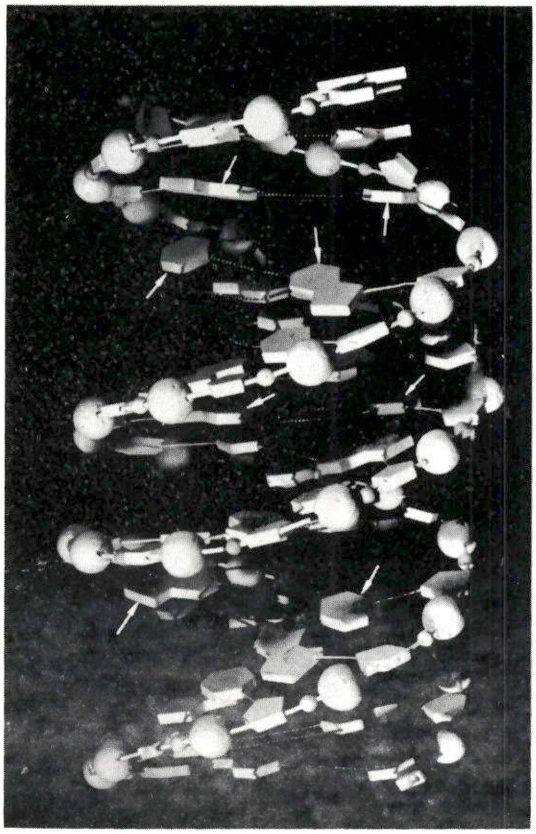
يعتبر جزىء الـ DNA تركيبا لتخزين المعلومات للكروموسوم . وهو مؤلف من وحدات نيوكليوتيدية Nucleotides وهذه بدورها مؤلفة من احدى القواعد النيتروجينية التالية ، وهى الادنين Adenine او الثايمين Thymine او السيتوسين Cytosine او الجوانين Guanine (شكل 4ـ17)، متحدة مع جزىء من سكر الريبوز اللااوكسجينى deoxyribose Sugar ، ومجموعة فوسفاتية ذات طاقة منخفضة ، تشابه الـ AMP (شكل 4ـ3). ويوجد جزىء الـ DNA على شكل سلاسل طويلة تلتف كل اثنتين منها على بعضهما البعض فى نظام حلزونى شكل (4 ـ 18) ، وفى كل لفة منها عشرة من النيوكليوتيدات Nucleotides ، تتكون كل سلسلة من عدد كبير من النيوكليوتيدات ، كما تترابط كل سلسلتين باواصر هيدروجينية تربط كل زوج من ازواج القواعد المتقابلة (شكل 4ـ19). الثايمين (T) يرتبط مع الادنين (A) باصرتين هيدروجينيتين ، على حين يرتبط السيتوسين (C) مع الجوانين (G) بثلاث اواصر هيدروجينية ، وبذا تتزاوج القواعد دائما على الشكل التالى A = T او T=A ، ثم الـ C=G او G =C .

يتضح جليا من تنظيم جزىء الـ DNA هذا ان سلسلتيه عديدة النيوكليوتيدات غير متطابقتين ، بل نجد ان الواحدة منهما تعتبر عكس الاخرى . ولقد تم الكشف عن تركيب جزىء الـ DNA وفروعه ، سنة 1953 من قبل العالم الامريكى واتسون J. D. Watson والعالم الانجليزى غريك F. H. C Crick والعالم النيوزيلندى ولكنس M. H. F Wilkins وقد اقتسموا جائزة نوبل للسلام سنة 1962 تقديرا لكشفهم هذا ، وبذلك كانت البداية لاحد العلوم المتقدمة فى عصرنا الحاضر .

لقد تبين ان جزىء من الـ DNA مسئول عن عمليتين هما : (1) تخليق جزيئات جديدة من الـ DNA وهى عبارة عن نسخ طبق الاصل للسلاسل الاصلية ، ويحدث ذلك فى الطور البينى Inter Phase من اطوار الانقسام . وتلتف كل سلسلتين منها بشكل حلزونى ثم ينفصل كل زوج منها وتتوزع بين الخلايا الوليدة الناتجة عن الانقسام الفتيلى Mitosis . ويعتقد ان عملية استنساخ جزيئات من الـ DNA تتم من جراء انفصال الاواصر الهيدروجينية للشريط المزدوج وفى هذا الانفصال تتعرى القواعد النيتروجينية فترتبط مع القواعد المكملة لها والقادمة من السيتوبلازم (شكل 4ـ20). وهكذا يتم ارتباط الـ (A) مع الـ (T) او بالعكس وكذلك الـ (C) مع الـ (G) او العكس ويحدث هذا فى كل شريط (Strand) للـ DNA . كما ترتبط هذه القواعد الجديدة مع كل من السكر والفوسفات لتكوين اجزاء السلسلة الرئيسية الجديدة . تتكرر نفس هذه العملية مع السلسلة الثانية للـ DNA يكون الناتج سلسلتين منسوختين عن السلسلتين الاصليتين . (2) يلعب جزىء الـ DNA كقالب عند انتاج الـ RNA الذى تنتقل بعدها الى السيتوبلازم حاملا معه المعلومات الوراثية المنسوخة عن الـ DNA (شكل : 4ـ21)



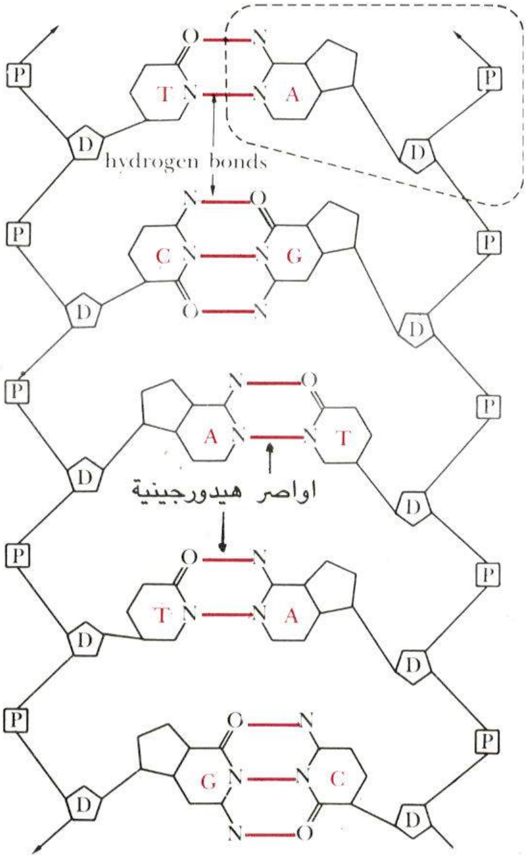
شكل (4ـ17) ازواج الـ DNA الاساسية التى توضح الاواصر الهيدوجينية (معلمة بخطوط حمراء). اما السكر فيوضح الآصرة المكونة لسكر الرايبوز اللاوكسجين deoxyribose . يشكل كل فى القاعدة النيتروجينية hydrogen base وجزىء السكر والفوسفات مركب النيوكليوتيد nucleotide . انظر شكل (4ـ19) .



شكل (4ـ18) نموذج لجزء صغير من التركيب الحلزونى الثنائى للـ double - stranded spiral DNA يترابط الخيطان بواسطة اواصر هيدورجينية تربط بين القواعد النتروجينية (اشير لبعضها باسهم)

تـركيـب ووظيفـة الـ Structure and Function of RNA

يتضمن هذا الموضوع ميكانيكيـة تحكم الـ DNA بترتيب الاحمـاض الامينية فى البـروتينات . فكمـا ذكرنـا انفا تنتقـل المعلومات الوراثية للـ DNA الى مجموعة ثانية من الاحمـاض النووية هى الـ RNA . تختلف هذه المجموعة بشكل عـام عن الـ DNA فى ثـلاث نقاط رئيسيـة هى : عـدم احتـوائـها عـلى الثايمين الذى يوجد بدلا منه والقريب منـه تطابقـا اليورسيـل (U)، احتواؤها عـلى سكر الـريبوز ribose بـدلا من الريبـوز الـلاوكسجينى deoxyribose الموجـود فى الـ DNA، واخيرا يتواجد جـزىء الـ RNA الذى يقـوم بوظيفتـه كشريط منفرد وليس بمـزدوج كما هى الحـال بالنسبـة للـ DNA يوجـد الـ RNA عـلى ثلاثـة انـواع (1) RNA الـرسـول (m RNA) messenger - RNA الذى يحمل المعلومات الـوراثية من الـ DNA الى الرايبوسومات (المواقع المسئولة عن بنـاء البروتـين فى السيتوبلازم) (2) جـزىء RNA الريبـوسومى (rRNA)



شكل (4ـ19) رسم تخطيطى يوضح جزءا قصـيرا لخيط الـ (DNA) . توضح الخطوط الملونة الاواصر الهيدروجينية التى تربط السلسلتين معا كما تظهر السلسلتان منفصلتين عند تناسخ الخيطين . يرمز الحرف (D) الى الريبوز اللااوكسجينى deoxyribose والحرف (P) الى جزئيات الفوسفات التى تربط القواعد مكونة سلسلة الـ DNA . اما الخطوط المنقطة فتحيط باحد نيوكيوتيدات الادينوزين ، موضحة تكوين القاعدة النتروجينية ، والادنين (A) والسكر (D) والفوسفات (P) لخيط الـ (DNA) ، كما يوضح الشكل الطبيعة العكسية للسلسلتين .

للـريبوسـومات . (3) الـ RNA النـاقل tRNA(transfer) RNA وهو الذى يحمـل احماضـا امينية معينـة الى المواقـع الصحيحة للجزىء النـامى متعدد الببتيـدات polypeptide molecule

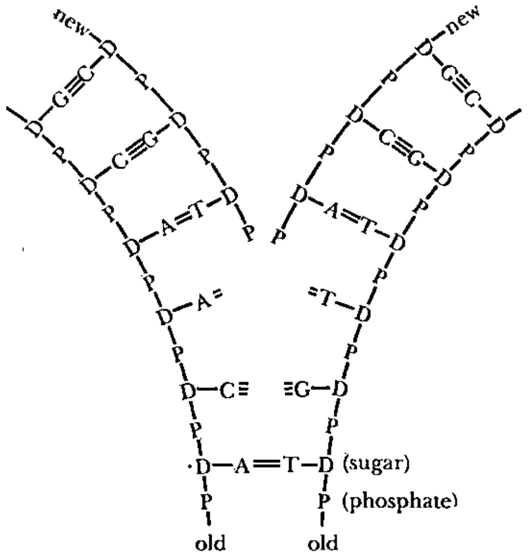
الرسول: *Messenger-RNA*

تتكـون جزيئـات الـ m – RNA على جـزيئات الـ DNA التى تعتبـر بمثابـة النسخة الاصليـة او القـالب لتخليق هـذه الجـزيئـات، يتم ذلـك عن طـريق انفصـال مؤقت لـلاشرطـة المزدوجة من الـ DNA عند مواقع التقائها، حيث يحدث ذلـك بفعل انزيم خاص، ومن ثم تتكون فى مناطق الانفصال اشرطـة متممـة بـالاستعـانـة بنيـوكليـوتيـدات الـ RNA . ولكـون السلسلتين غير متماثلتين فان الذى يعمل عمل القـالب فى انتاج الـ RNA هو احداهمـا فقط . عند تخليق سلسلـة الـ RNA المنفـردة المتممة، يجب ان يقتـرن ادنين adenine الـ DNA بـالبورسيـل uracil. ويحل الادنـين محل التـايمين thymine المـوجـود فى الـ DNA (شكـل 4 ـ 21) . وتتكـون الازواج القـاعديـة المتممة الاخـرى على نمط استنسـاخ جزيئـات الـ DNA (شكل 4 ـ 20) ينفصل جـزىء الـ RNA بعد اتمـام تكـوينـه عـلى الـ DNA ومن ثم ينتقـل الى الـريبـوسـومـات الموجودة فى السيتوبلازم، كما ان المعلومات الوراثية الكامنة فى جزىء الـ mRNA هى مستقاة من المعلومات المـوجودة عـلى جزىء الـ DNA ويمكن تمثيل ذلك بما هو مكتوب على الورقـة المسحوبة على الرونيو التى هى انعكاس لمـا هو مكتـوب فى ورقة الستينسل. علما بانها تحمل نفس المعلومات.

يرتبط جزىء الـ m– RNA داخل السيتوبلازم مع واحـد او اكثر من الريبوسومات حيث تبدأ عملها كقوالب تتكون عليها جزيئات الببتيدات المتعددة. الريبوسـومات كمـا فى شكل (4ـ 15) تتألف من الـ RNA والبروتين وتعتبر الجهة المسئولة عن تكوين البروتين.

الناقل: *Transfer-RNA*

مـع ان الوظيفـة الذى يضطلـع بهـا الـ m– RNA هى فى تحـديـد مـواقـع الاحمـاض الامينيـة فى سلسلـة الببتيـدات المتعـددة ، الا ان المشكلـة المتبقيـة هى كيفيـة استحـلاب



• شكل (4ـ20) تناسخ جزء الـ DNA (لايظهر هنا التركيب الحلزونى) بانفصال الخيطين من جراء انفصال الاواصر الهيدوجينية ، تجذب القواعد قواعد اخرى اضافية وتتكون خيوط جديدة عصبها سكر الفوسفات sugar phosphate ويكون بذلك كل خيط جديد مطابقا لاحد خيوط الحلزون الاصيل .

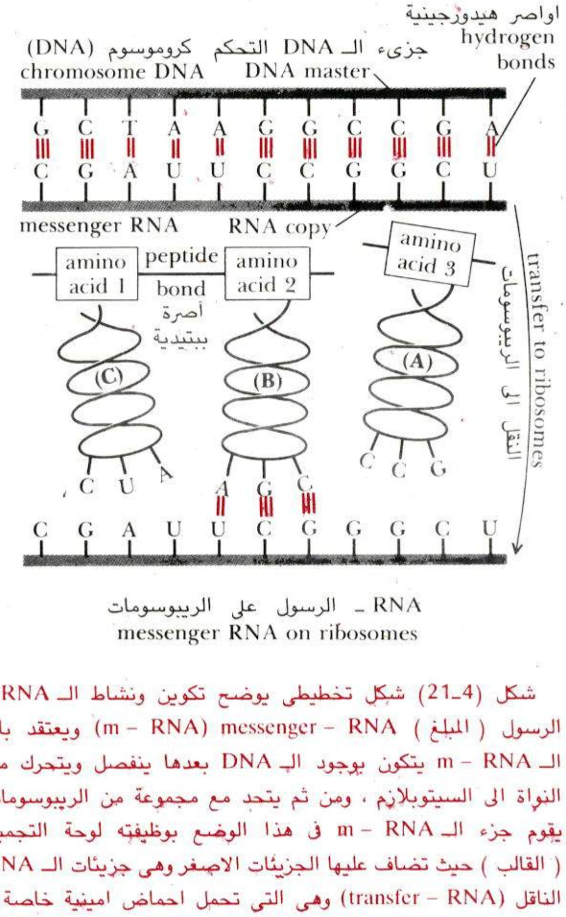
الاحماض الامينية المناسبة من السيتوبلازم . ان الـذى يقوم بهـذا الـدور هـو الـ RNA ـ النـاقـل (t– RNA). وهـذه الجزيئات هى على شكل سلاسل قصيرة. يعتقد بـانها تكـونت كما فى حالة الرسول، على سلسلـة واحدة من شريط الـ DNA ولكن عنـدما ينفتـح الاخير فى مـواقـع محـددة منه ويعتقـد ان جزىء الـ RNA الصغير ينثنى عـلى نفسه مـرة اخرى ويلتف طرفاه عـلى بعضهما عـلى شكل حلـزون، فى منطقة الثنيـة التى ينثنى بها الى الخارج تتعرى ثلاث من القواعد المتتابعة (شكل 4 ـ 21) يمكن تتابع القواعد هذا الى حدوث الارتباط مع الـ m – RNA فى مواقع القواعد المكملة لها.

يـرتبط الحامض الامينى مـع جـزىء الـ t – RNA بفعـل انزيم خاص وطاقة يحصل عليها من جزىء الـ ATP من اجل تنشيط الحامض الامينى .. حيث ينتقل هـذا المركب المؤلف من الحـامض الامينى والـ t– RNA الى الموضـع المصمم له عـلى مجمـوعة ريبـوسوم الـ m– RNA ويـرتبط به . ويحـدد هذا الموقع من تتابع قواعد الـ m– RNA والمتمم للقـواعد الثـلاثة المـعـراة للـ t – RNA (شكـل 4 ـ 21) . ونتيجـة لتحـرك الـريبوسـوم على طـول جـزىء الـ m– RNA تتمـو سلسلة الببتيدات المتعددة،يـرتبط الحامض الامينى المـوجود ضمن

مركبه مـع t – RNA بالطـرف العارى من سلسلـة الببتيدات المتعددة ويجرى ذلك بنشاط انـزيمى يفصل الـ t– RNA عن الحامض الامينى الذى احتل موقعـه على الـ m– RNA يعقب ذلك حركة للريبوسوم على طول سلسلـة الـ m – RNA وحتى قـدوم المـركب التـالى من الحـامض الامينى والـ t – RNA ليأخذ محلـه هو الاخـر وفق الشفرة code position وتتكـرر العمليـة، باضـافة حـامض امينى جديـد لسلسلة الببتيـدات المتعددة وهكذا يتنامى جزىء الببتيـد المتعدد حتى يصـل الى نهاية سلسلة الـ m – RNA ، وربما تكون سلسلة الببتيـدات المتعددة اما جزيئات بـروتين صغـيرة الحجم او يمكن ان تتحد مع بعضها مكونة جزىء بروتين كبيرا .

الجـين والشفرة الـوراثيـة : The Gene and the Genetic Code

لقد رأينا كيف ان تتـابع قـواعد جـزىء الـ DNA يشكل اساس تسلسل الاحماض الامينية فى البـروتينات. وعليـه فان هذا التتابع هو الذى يمثل الشفرة (الرمز)، الذى يقرر تسلسل او تتابع الاحماض الامينية فى جزىء البروتـين . ونتيجة لهـذا التتابع فى القواعد النيتروجينية G,C, (U) T, A فـان الآف الانـزيمات يمكن ان تتكـون فى الخلايـا بحيث يصعب الكشف عنها والتعرف على تأثيراتها . واذا ماافترضنا ابجديـة مكونـة من اربعة احرف، لبدت لنا محدوديتها ولكن ربمـا يكون القـاء نظرة على الحـاسب الآلى ولغته مفيـدا فى تبيان عكس ذلـك، اذ تتكون ابجدية الحاسب الالى رغم سرعتـه الفائقـة من حرفـين لاغـير. ونظـرا لان عـدد الاحمـاض الامينيـة فى البـروتينـات النمطية هو 20 حامضا امينيـا مختلفا فـان من غير الممكن ان تختص كـل قاعـدة من هذه القـواعـد الاربـع (G,C,U,A) بواحد فقط من هذه الاحماض كما لايمكن ايضا لقـاعدتـين ان تختص بـواحـد من هـذه الاحمـاض، نظـرا لان الاحتمـالات المختلفة الممكن الحصول عليهـا هى (4×4)=16 وهذا ايضـا غيروارد لان تعداد الأحماض الامينية هو 20 . فى حالة الثلاث قواعد يكون عدد التوافيق التى يمكن تشكيلها (4×4×4)=64 اذن الشفـرة الثلاثيـة هى التى يعتد بهـا فى تحديـد الحـامض الامينى، اى يمكن لاكثـر من شفـرة ان تعبـر عن الحـامض الامينى الواحد، ونتيجـة لهذه الفـرضية فـانه عـلى الرغم من وجود اربعة حروف (اى عدد القواعد) فان الذى يستخدم منها هو ثلاثة حروف فقط. يمثل الجين جـزءا من جزىء الـ DNA، ويتـألف الجين من العـديـد من التكـرار للقـواعـد الثـلاث او مايسمى بالثلاثيات triplets. طـول الجين لايمكن تحـديده اذ يختلف باختلاف الجينات. ولكن يمكن القول بان الجين يتـألف من حـوالى 300 من الثـلاثيـات، التى تمثـل شفـرات وراثيـة genetic Codes اى بمعنى ان الجـين يحتـوى عـلى 900 من النيوكليوتيدات. اذن يمكن تعريف الشفرة الوراثية على اساس نـوعية القـواعد الثـلاث التى تشكل الثـلاثيـات والتى تتحكم بتـرتيب مـواقـع الاحمـاض الامينيـة فى سلسلـة الببتيـدات المتعددة. فمثلا الشفـرة الوراثيـة GAUمختصة بـالحـامض الامينى اسبـارتك aspartic acid وان الـ UCG بـالحـامض الامينـى سـيريـن serine والـ GGC مختص بـالحـامض الامينى الجلايسين glycine وهكذا (شكل 4 ـ 21).

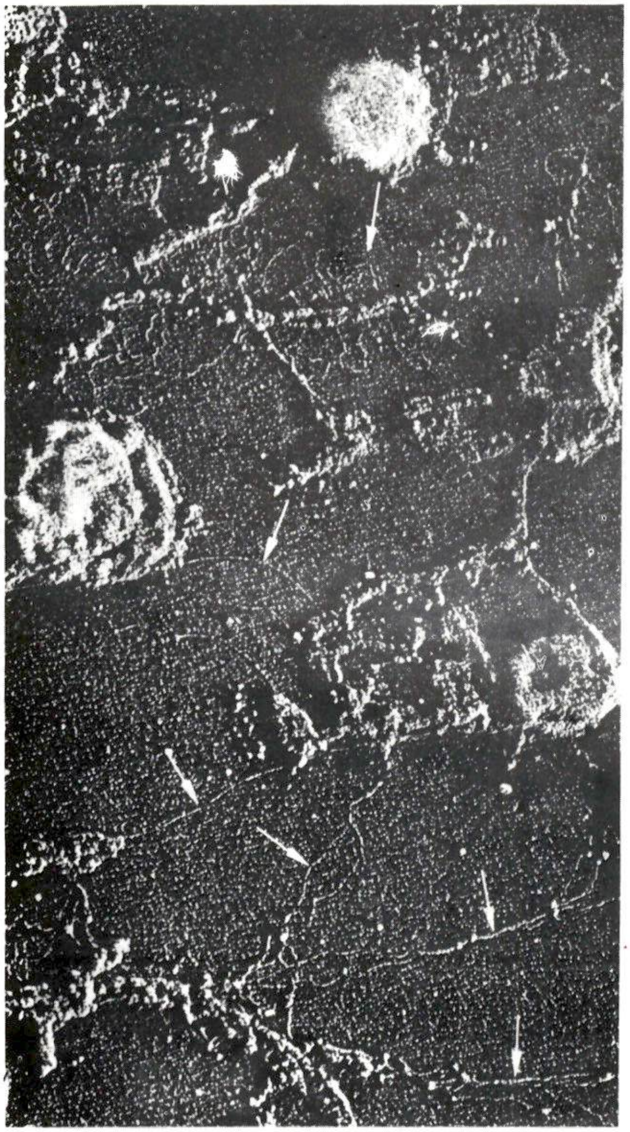


شكل (4ـ21) شكل تخطيطى يوضح تكوين ونشاط الـ RNA ـ الرسول (المبلغ) messenger – RNA (m – RNA) ويعتقد بان الـ m – RNA يتكون بوجود الـ DNA بعدها ينفصل ويتحرك من النواة الى السيتوبلازم ، ومن ثم يتحد مع مجموعة من الريبوسومات يقوم جزء الـ m – RNA فى هذا الوضع بوظيفته لوحة التجميع (القالب) حيث تضاف عليها الجزيئات الاصغر وهى جزيئات الـ RNA الناقل (transfer – RNA) وهى التى تحمل احماض امينية خاصة .
ان تناغم ثلاثيات القواعد العارية للـ t – RNA مع الكود الثلاثى للـ m – RNA يعتبر الضامن للترتيب الصحيح للاحماض الامينية ومن هنا ينشأ الببتيد ـ العديد Polypeptide .

(أ) جزىء الـ t – RNA يقترب من الـ m – RNA

(ب) جزىء الـ t – RNA يرتبط بالـ m – RNA

(جـ) جزىء الـ t – RNA يغادر الـ m – RNA بعد تخلصه من الحامض الامينى .



شكل (4ـ22) صورة بالمجهر الالكترونى (تكبير 31000) لبلاستيدة خضراء فى نبات السبانخ حطمت بصدمة ازموزية . صاحبت الشعيرات الدقيقة للـ DNA (مشار اليها بسهم) الجرانا والصفائح بين الجرانا انظر الشكل (5ـ13) .

تقرأ الشفرة الوراثية فى الجين دائما باتجاه واحد، وهذا يعنى ان استبدال اى قاعدة من قواعد الجين بقاعدة اخرى سينتج عنه تغير فى موقع احد الاحماض الامينية فى سلسلة الببتيدات وغالبا ما ينعكس ذلك على تغيير صفات البروتين. ان اى اضافة او انقاص لاحدى القواعد يمكن ان ينتج عنه قراءة مختلفة كلية، مما يتسبب فى تكوين سلسلة شاذة من الببتيدات المتعددة. وفى حالة حدوث مثل هذا التغيير فى الجين فان ذلك سيكون عى اقل تقدير احد الاسباب فى حدوث الطفرات mutations التى سنناقشها فى الفصل ـ 17.

وجود الـ DNA فى البلاستيدات الخضراء والميتكوندريا: DNA in Chloroplasts and Mitochrondria

كان يعتقد ان جميع الـ DNA الموجود فى الخلية متواجد فى النواة فقط، ولكن اتضح الآن وبصورة قطعية ان الاشرطة المزدوجة للـ DNA موجودة ايضا فى البلاستيدات (شكل : 4 ـ 22) والميتكوندريا حيث تظهر فى الصورة على شكل الياف موزعة داخل هذه العضيات. ويظهر ايضا ان هذه الاشرطة من الجزيئات تتضاعف لتتوزع فى البلاستيدات الاولية او الميتكوندريا عند انقسامهما. ولذلك فهى غير تابعة للـ DNA الموجودة فى النواة . وهناك شواهد على انها تتكون فى حالة عدم وجود النواة لاثبات منشأها . ان جزيئات الـ DNA الموجودة فى هذه العضيات هى من نوع خاص تختلف كيميائيا وفيزيائيا عن جزيئات الـ DNA الموجودة فى انوية خلايا هذه العضيات.

توجد ادلة كثيرة تؤيد الاعتقاد بان البلاستيدات والميتكوندريا تحتوى ايضا على الـ m- RNA اى ان هذه الخلايا تقوم بتخليق البروتينات بنفس الطريقة التى تمليها النواة فى الخلية العادية. وعليه فان هذه العضيات تكون غير معتمدة على النواة فى الحصول على البروتين بسبب تمركز العوامل الوراثية فيها. وهناك شواهد تثبت ايضا ان بعض الانزيمات وبروتينات اخرى تم العثور عليها فى هذه العضيات تم تحديد تسلسل الاحماض الامينية فيها بواسطة جينات النواة ، اى ان هذه البروتينات تم انتقالها من سيتوبلازم الخلية داخل هذه العضيات. وبتعبير اخر يمكن القول ان هذه العضيات هى نصف مستقلة ، حيث انها تشارك ولو بجزء من بروتين الخلية الضرورى. الواجب معرفته بعد هذا العرض هو الوقوف على نوع العلاق التكافلية بين هذه العضيات المحتوية على انظمة بنائية معقدة وبين تلك الانظمة الموجودة فى النواة. ومهما يكن من امر هذه العلاقة فما زال الكثير من الاستفسارات واردا عن توارث جينات هذه العضيات بدون الاعتماد على جينات النواة. وقد اصطلح على هذا بالتوارث اللاكروموسومى nonchromosomal inheritance اومايسمى بالتوارث السيتوبلازمى cytoplasmic inheritance- اى الذى يحدث فى السيتوبلازم. ان اكتشاف ميكانيكية بناء البروتين

فى البلاستيدات والميتكوندريا كان قد استغل فى تعضيد التخمينات عن اصل تطور هذه العضيات . واستنادا على هـذه التأمـلات يعتقد أن البـلاستيـدات الخضراء والميتكوندرياكانت فى يوم ما خلايا حية مستقلة ، حيث تقارن البلاستيدات بالطحالب الزرقاء الخضراء الوحيدة الخلية ، فى حين ان الميتوكوندريا تشبه البكتيريا ويعتقد ان الذى حصل هو ان بعض الخلايا الاكبر التهمت هذه بطريقة اميبية لتتغذى عليها ولكن بطريق الصدفة لم تتلف هذه الخلايا حيث دخلت بعلاقة مع الخلية من النوع الذى يسمى بالتكافلية الاجبارية obligate mutualistic وبمرور الوقت فقدت هذه الخلايا الغازية جزءا من قابليتها البنائية بسبب اتكالها على الـ DNA الموجود فى خلية العائل (المضيف) . host

الخلاصة : Summary

1 ـ تركيب النباتات والتفاعلات الحادثة فيها مستندة على الذرات بمختلف انواعها . الذرات تعتبر اصغر جزء من العنصر الكيميائى ، تتألف من الانوية التى تتألف من البروتونات ذات الشحنات الموجبة والنيوترونات الخاملة (لاتملك شحنة) . يتألف القسم الخارجي من الذرة من الالكترونات ذات الشحنات السالبة وتتواجد باعداد مساوية لعدد البروتونات .

2 ـ تتحد الذرات لتكون الجزيئات حيث ترتبط بواسطة الاواصر الكيميائية ، وهذه الاواصر يمكن ان تكون ايونية ، ويتم ذلك بانتقال الالكترونات فيها من ذرة الى اخرى ، او ان تكون تساهمية باشتراك بعض الالكترونات بين الذرتين . يوجد ايضا نوع آخر من الاواصر هى الهيدروجينية وهى ضعيفة جدا ولكنها فى الوقت نفسه مهمة فى علم الاحياء بسب تاثيرها على تحديد صفات الماء والبروتينات والسلاسل النيوكليوتيدية للـ DNA .

3 ـ الاكسدة هى فقدان الالكترونات . وتعنى فى التفاعلات النمطية الحيوية ، فقد ذرة الهيدروجين مع الكتروناتها ، أو تكون ناتجة عن الاتحاد بذرات الاكسجين التى لا تحوى على الكترونات كاملة فى مداره.اما الاختزال فنعنى به اضافة الالكترونات عكس ، الاكسدة ، ثم ان تفاعلات الاكسدة والاختزال هى تفاعلات متلازمة .

4 ـ من أهم حوامل الطاقة الكيميائية فى الخلايا ـ الادنزين ثلاثى الفوسفات (ATB)أو ما يعادله ، الذى يستخدم لامداد الطاقة للعديد من التفاعلات الكيميائية داخل الخلايا.

5 ـ المادة تتخذ اشكالا مختلفة كالغازات والسوائل والمواد الصلبة وتكون محاليل وانظمة غروية نتيجة مزج البعض منها بالبعض الاخر . وان المحاليل المائية المحبة للماء وكذلك الانظمة الغروية هى ذات أهمية كبرى بالنسبة للمواد الحية.

6 ـ تميل جزيئات المادة او بعض دقائقها الى ان تتوزع بصورة متجانسة فى الحيز المتوفر بسبب طاقتها التى تملكها وبسبب حركتها المستمرة ويدعى هذا التوزيع المتجانس بالانتشار .

7 ـ يتبخر الماء لان بعض جزيئاته الاكثر سرعة تفلت من سطح السائل الى الهواء . التبخر يزداد كثيرا بازدياد درجة الحرارة فيزداد الى الضعف عند كل زيادة فى درجات الحرارة مقدارها 10م° (18ف°) . يمكن تخفيف الماء عن طريق اذابة بعض المواد فيه ، وهذا التخفيف يؤثر فى التقليل من عملية انتشار الماء وتبخره.

8 ـ تنتشر الجزيئات حسب فرق تركيزها ويتأثر الانتشار بدرجة الحرارة والضغط . تاثير مجموع هذه العوامل ينتج عنه ضغط أنتشارى لاى نوع من الجزيئات .

9 ـ انتشار الماء خلال الغشاء ذى النفادية الانتقائية من منطقة الضغط الانتشارى العالى الى الاقل يدعى بالازموزية ، اذا ما وضعت خلية او نبات ذابل فى الماء فسرعان ما ينتشر الماء داخل الخلية مسببا فى رفع ضغط الخلية الانتفاخى تدريجيا .

10 ـ يتسب تخفيف الماء داخل الخلية فى انتشار الماء من الخارج الى داخلها . ويقف الضغط الانتفاخى حائلا ليوقف هذه الحركة من جزيئات الماء . تعتمد قوة امتصاص الخلية للماء على مقدار الاختلاف فى درجة تخفيف الماء ضمن الخلية وضغطها الانتفاخى .

11 ـ لو وضعت الخلية فى محلول سكرى عالى التركيز فإن الماء سوف ينتشر من البروتوبلاست إلى الخارج مما يتسبب فى انكماشه مبتعدا عن جدار الخلية حيث يحدث ما يسمى بالبلزمة.

12ـ نعنى بالتشرب امتصاص امتزاز جزيئات الماء من الاسطح الداخلية للخشب او المواد الاخرى ، والتشرب عملية هامة فى بلّ الخشب وانتفاخه وفى نقع البذور الجافة .

13 ـ الغشاء الذى يحيط بالبروتوبلاست غشاء سريع النفاذية للماء وأقل نفاذية للاملاح المذابة فيه وانه غير نفاذ تقريبا للسكريات والمواد الاخرى . فى حالة تحطيم هذا الغشاء بقتل الخلية بالحرارة يفقد تركيبه وبذلك يسهل للسكريات وصبغات الانثوسيانين والمواد الاخرى وغيرها للانتشار خارج الخلية .

14ـ تنتقل الاغذية من برتوبلاستات الخلايا المجاورة بواسطة الروابط البلازمية (البلازموديسماتا) التى تمر من خلال ثقوب صغيرة عبر جدرانها . يمكن حدوث انتقال للمواد داخل الفجوة بواسطة النقل الفعال.

15 ـ تتألف الغرويات عادة من الطور المنتشر الذى يمثل الدقائق الصغيرة والطور المستمر الذى يعنى وسط الانتشار كالدهن المنتشر فى الماء او بروتينات الحليب فى الماء .

16 ـ الدقائق الغروية صغيرة جدا ومع ذلك فإن كل جسيم منها يمكن ان يحوى ملايين الجزيئات بسب صغر حجوم دقائقها . تتمتع الغرويات بخصائص سطحية باهرة وان جزيئات البروتين من الكبر بحيث يمكن ان تتمتع بالكثير من صفات الدقائق الغروية .

17 ـ تملك البروتينات صفات مشتركة بينها كيمياء المحاليل وكيمياء الغرويات اى كيمياء السطوح وبذلك تتكون من تكوين تركيبات معقدة وتكوين العديد من انظمة البروتوبلازم الانزيمية.

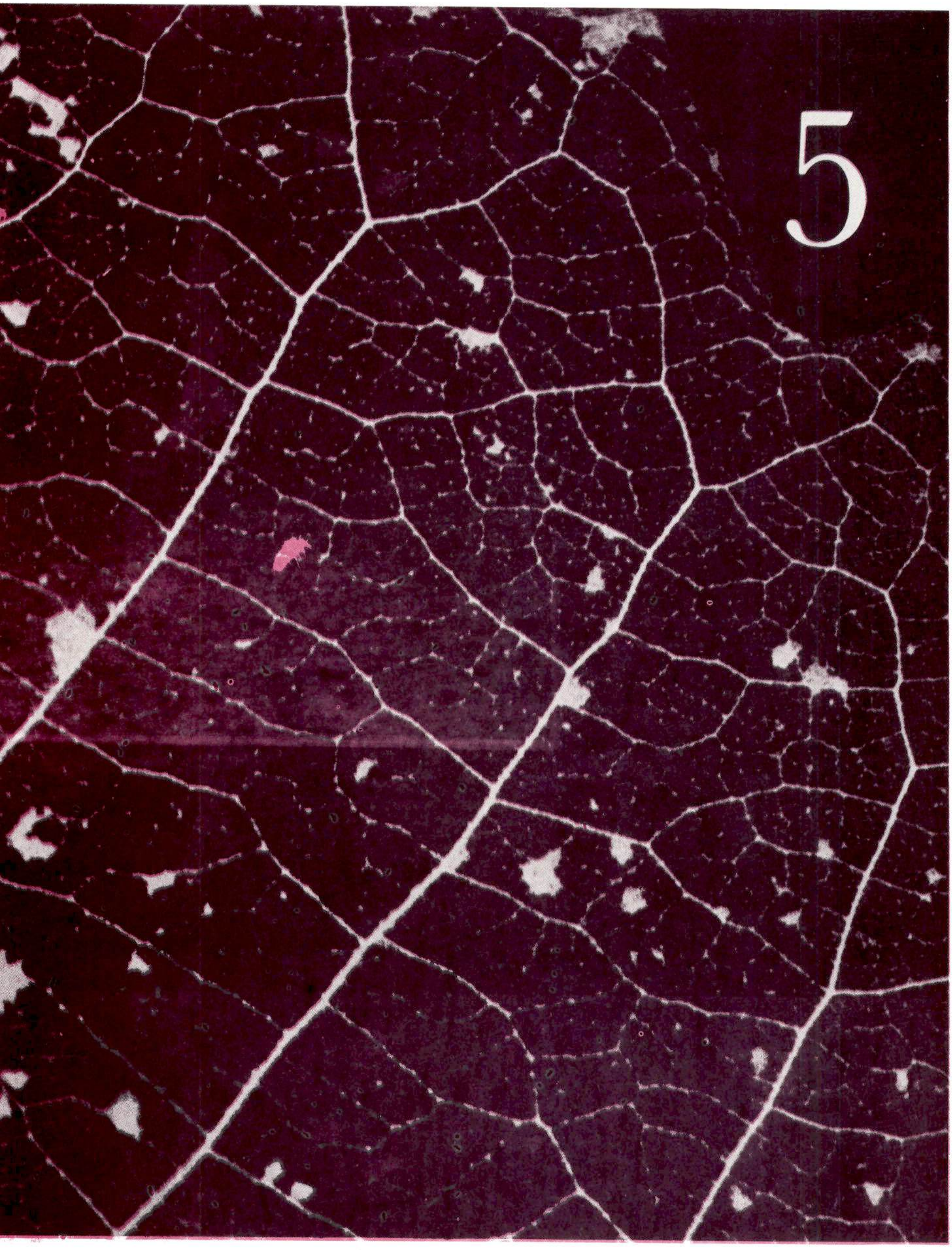
18 ـ السيتوبلازم نظام كثير التعقيد يحتوى على جزيئات وتراكيب بروتينية ومواد دهون وسكريات وعناصر معدنية مع حوالى 90٪ من الماء . ان تركيب وتفاعلات هذا النظام تشكل الصفات النوعية للكائنات الحية .

19ـ الانزيمات نوع من التفاعلات تساعد فى اسراع بعض التفاعلات الكيميائية داخل الخلية . وقد يصل مجموع الانزيمات فى الخلية الواحدة إلى عدة آلاف من الانواع .

20 ـ توجد الكروموسومات بشكل حلزونى طويل وهى مؤلفة من سلاسل مزدوجة من الـ DNA ومغطاة بالبروتينات . تمثل الجينات وحدات الكروموسومات المرتبة على طول أشرطة الـDNA المعلومات الضرورية التى تقرر تسلسل الاحماض الامينية فى سلسلة الببتيدات المتعددة تقررها الشفرات الوراثية . تتكون الشفرة الوراثية من مجاميع مؤلفه من ثلاثة حروف وكل حرف يمثل قاعدة نيوكليوتيدية من قواعد الDNA

21 ـ لتخليق البروتين يشترط وجود جزيئات الـ m-RNA (RNA الرسول)، الذى تم استنساخه من قبل الـ DNA داخل النواة، حيث يعمل كقوالب لتركيب جزىء البروتين أما RNA- الناقل (t-RNA)فيعمل على توصيل الاحماض الامينية الى الـ m-RNA ليتم تصفيفها هناك . وتقوم بروتينات الخلية الانزيمية بتنظيم التفاعلات الكيميائية التى لا تحصى داخل الخلية.

البناء الضوئى والورقة
Photosynthesis and the Leaf


5

البناء الضوئى والورقة
Photosynthesis and the Leaf

هنـاك العديـد من العمليات التى تجـرى فى الورقـة ، ولكن اكثـرها تميـزا وأهمية هى عمليـة صنع الغـذاء . فالنبـاتـات الخضراء تملـك القدرة عـلى تصنيع الغـذاء من المواد الأوليـة المـأخوذة من التـربة والهـواء . ويكتسب هذا النشـاط أهمية قصوى لاتقتصر على حياة النباتات وحدها بل تمتـد كى تشمل عالم الحيوان بمـا فيه الانسـان أيضا . فـالبناء الضـوئى هو صنع السكر من مادتين بسيطتين ابتدائيتين هما ثانى اوكسيد الكربون والماء بوجود الكلوروفيل (المادة الخضراء فى النبات) ، بجانب ضوء الشمس كمصدر للطاقة . ونظـرا لضرورة الضوء فى العملية فإن مصطلح البناء الضـوئى (ضوء Synthesis + بناء Photos, Light هو اسم مطابق لمسماه .

أهمية البناء الضوئى :
Significance of Photosynthesis

تحتـاج جميع الكـائنات الحيـة للطاقـة ، ليس فقط لغرض النمـو والتكاثـر ولكن أيضا للمسـاعدة عـلى استمرار الحيـاة نفسها . ومصدر هذه الطاقة هو الطاقة الكيميـائية المتـوفرة فى الغذاء ، والذى هو فى الاساس من صنع البناء الضوئى . فعن طـريق النباتـات الخضراء تتوفـر للكـائنـات الحيـة فـرصـة الاستفادة من طاقة أشعة الشمس . وبـاستثناء مـايحدث من نشاطات بعض أنواع قليلة من البكتريا فإن البناء الضوئى هو العملية الوحيدة التى يمكن بواسطتها بناء المركبات العضـوية من المواد غير العضوية وخزن كمية من الطاقة .

ولقد اعتبرت عملية البناء الضـوئى أنها من أهم العمليـات الكيميائية التى عرفها الانسان . كما ويعتبر البناء الضوئى ذا أهمية كبيرة من حيث مقدار النواتج . إذ يقدر مجموع ماينتـج من سكر من قبل عالم النباتات الموجودة على سطـح الارض وفى البحـار بحـوالى 100 مليـار طن فى السنـة ومن سوء الحظ أن معظم هذه الكمية يتكون فى المحيطات بحيث لا يمكن الاستفادة منه كثيرا . وحسب التقديرات لايتعدى ما يستخرجه الإنسـان من البحار نسبة 2٪ من مجمـوع احتياجـاته الغـذائية . أمـا المجموع الكلى لما ينتج من سكر بواسطة النباتات الموجودة على سطح اليابسة فيقدر بحوالى 50 مليار طن سنويا ، تحتوى على اضعـاف مضاعفـة من مجمل احتيـاجات سكـان الأرض (4 مليارات نسمة) من الطـاقة . وعنـد إدراك أن نسبة عـالية من مجموع الغذاء المنتج فى النبات تـذهب لتكوين الخشب والقش

وغيرهما من مواد غير صالحة للأكل ، وان عالم الحيوان لايستفيد بأكثر من 10٪ فقط من السعرات الحرارية النباتية كغذاء له نصل الى حقيقة أن الأرض لا تستطيع استيعاب زيادة مستمرة فى السكان .

ومع أن البناء الضوئى يتضمن فى المقام الأول انتاج السكر أو المواد الخام لصناعة السكر فإنه أيضا يجهز مواد لعمليات بنائية مهمة أخرى . ومن بين هذه المواد الاساسية أنواع الحوامض الامينية المعروفة بأهميتها . وتستطيع النباتات فقط وبضمنها البكتريا بناء هذه المركبات التى تعتمد عليها الحياة ككل . كما أن أغلب الفيتامينات الخاصة بنا تأتى بطريق مباشر أو غير مباشر من النباتات . إن الغذاء الذى تنتجه النباتات يمكن أن يستخدم من قبل النبات نفسه أو يتحول الفائض منها من قبل جيل النبات القادم ، او يستخدمها النبات عند بدء النمو الجديد بعد فصل الشتاء أو فى الفترات الأخرى غير الملائمة للنمو . ويستفيد الانسان والحيوان من تجميع النبات للغذاء حيث يحصلان على غذائهما بصورة مباشرة أو غير مباشرة من الثمار أو البذور كالحبوبيات Cereals والبقوليات Legumes ، أو من السيقان كقصب السكر Sugar Cane (شكل 5 ـ 1) والبطاطس Potato أو من الجذور كالمنهوت (كسافا) Cassava (Jatropha Manihot) (نبات تستخرج من جذوره مادة النشاء) واللفت Turnip والبطاطا الحلوة Sweet Potato وكذلك من الأوراق .

الزراعة علم يهتم بالنباتات الخضراء التى يمكن أن يستفيد من منتجاتها كل من الانسان أو الحيوانات الأليفة . إن كمية إنتاج النبات لغرض الغذاء تصل الى مقادير كبيرة . فالإنتاج العالمى للقمح فى الموسم الواحد يصل إلى أكثر من 6 مليارات بوشل (مكيال للحبوب) . وينطبق هذا على انتاج كل من الرز والذرة . أما الإنتاج العالمى من السكر فيصل إلى أكثر من 50 مليون طن سنويا . وتنتج الولايات المتحدة وحدها سنويا 30 مليون بوشل من البقوليات الجافة و 400 مليون بوشل من البطاطس و 4 مليارات بوشل من الذرة وأكثر من مليار بوشل من القمح . ويعتمد إنتاج هذه الأغذية على البناء الضوئى للأوراق الخضراء ، إن حوالى 94٪ من محصول المادة الجافة سببه البناء الضوئى وإن 6٪ فقط تأتى من التربة .

إن علاقة البناء الضوئى بالانسان هى علاقة مهمة ، ليس فقط من وجهة النظر الخاصة بالغذاء ولكن أيضا لأن الإنسان يعتمد على هذه العملية فى كثير من وجوده الاقتصادى . فكثير من المواد الأساسية للصناعة يرجع أصلها إلى البناء الضوئى بطريق مباشر أو غير مباشر . فانتاج الياف النسيج والألواح الخشبية ومنتجات عجينة الخشب وأشباه الدهنيات النباتية والاصماغ والراتنجات يعتمد على نشاطات البناء الضوئى للنباتات الخضراء .

واذا ماقارنا بين الماضى والحاضر لوجدنا أن اعتماد الانسان على البناء الضوئى يزداد يوما بعد يوم . فحضارتنا القائمة على المكنة الصناعية الواسعة قد قامت على أساس الاستفادة من بقايا النباتات الميتة والمتفسخة منذ العصور القديمة . فجميع الفحم كان قد تكون من النباتات ، كما أن البترول والغاز الطبيعى قد نتج عن تغيرات كيميائية جرت على بقايا النباتات ، وربما الحيوانات التى كانت تقتات على النباتات . وبالرغم من أن هذه المواد تسمى أحيانا بالوقود المعدنى ، إلا أنها فى الأساس مواد عضوية الأصل نتجت عن نشاطات نباتية بصورة مباشرة أو غير مباشرة . إن المتحجرات النباتية هذه التى تستخدم كوقود تشكل المصدر الأساسى للطاقة فى الصناعة . هذا مع أن الطاقة النووية يمكن ان تحل يوما ما محل هذه المواد الزائلة .

يتحرر الاوكسجين كناتج عرضى لعملية البناء الضوئى ولايقلل هذا من أهميته القصوى ، فالنباتات الخضراء والحيوانات لاتستطيع أن تستفيد من الغذاء المنتج بواسطة هذه العملية مالم يكن هناك وفرة من الاوكسجين المتحرر أثناء حدوثها . وتشير الدراسات الى أن الغلاف الجوى الذى كان يحيط بالأرض قبل نشأة النباتات عليها كان يحتوى على ثانى اوكسيد الكربون والأمونيا والميثان وغازات أخرى ، بينما كان خاليا تماما من الاوكسجين أو كانت نسبته ضئيلة جدا . اما المحتوى الاوكسجينى للهواء (21٪ حجماً) فى وقتنا الحاضر فمرجعه تراكم الاوكسجين الناتج عن البناء الضوئى عبر ملايين السنين . ويستنزف الاوكسجين الموجود فى الهواء عن طريق تنفس الكائنات الحية واحتراق الفحم والزيت ومواد الوقود الأخرى وكذلك عن طريق عمليات أخرى . غير أنه من الواضح أن هناك عاملا يقوم بتعويض مايستهلك من اوكسجين الجو ، ويكون هذا العامل هو البناء الضوئى . ثم إن النباتات الخضراء تشكل المصدر المهم الوحيد للاوكسجين الحر الضرورى لبقاء حياة النبات والحيوان .



شكل (5 ـ 1)

محصول الايكر الواحد يبلغ 100 طن من قصب السكر فى هاواى (الولايات المتحدة) . يمثل هذا المحصول أحد أعلى معدلات البناء الضوئى فى الكرة الارضية .

التاريخ القديم : Early History

إن معلوماتنا الحاضرة عن البناء الضوئى كغيرها من العمليات النباتية العديدة الأخرى قد تطورت خلال فترة طويلة من الزمن . وعبر قرون طويلة سادت فكرة أرسطو (322 ـ 384 قبل الميلاد) القائلة إن النباتات تحصل على غذائها بصورة مباشرة من التربة . وقد كان يعتقد أن هذا الغذاء يتألف من دقائق للمادة العضوية ، تمتص بواسطة الجذور وتستفيد منها النباتات دون حدوث أى تغير كيميائى مهم .

إن أول سلسلة من التجارب تعارضت مع نظرية ارسطو أجراها هلمونت Jan Baptista Van Helmont (1577 ـ 1644) وهو فيلسوف وكيميائى وفيزيائى بلجيكى . لقد زرع فان هلمونت شجرة صفصاف صغيرة فى أصيص كبير ملأه بالتربة ونمىّ الشجرة لخمس سنوات ، مضيفا اليها ماء المطر فقط . وبعدها وجد أن وزن شجرة الصفصاف قد زاد 159 رطلا ، بينما لم تفقد التربة غير أوقيتين فقط من وزنها الجاف .

ومهما يكن مصدر المادة النباتية فمن المؤكد أنها لم تكن جميعها من التربة ، وقد خرج فان هلمونت بنتيجة أن النبات ينمو ويكبر من ماء المطر . لقد كان استنتاجه هذا خطأ بالدرجة الأولى بسبب عدم توفر المعارف الأولية للكيمياء فى ذلك الوقت . وخلال الثلاثة قرون التى اعقبت ذلك ساهم العديد من الباحثين فى المساعدة على تصحيح المفاهيم عن عملية تصنيع النباتات للغذاء بواسطة البناء الضوئى .

ومن بين العلماء الذين ساهموا فى اكتشاف البناء الضوئى نكتفى بذكر الرواد فقط ومنهم جوزيف بريستلى Joseph Priestley (1733 ـ 1804) وجان انجن هوز – Jan Ingen Housz (1730 ـ 1799) وتيودر دى سوزر Theodore de Saussure (1767 ـ 1845) . فبرستلى . الكاهن الانجليزى كان قد تعلّم الكيمياء بنفسه ، وله فضل فى اكتشاف الاوكسجين . ونتيجة لبحوثه عن الهواء (الغازات) ، استخلص عام 1772 أن النباتات يمكن أن تنقى حيزا من هواء تسبب فى اختناق فأرة . ولم يكن فى حينها يعرف أن الضوء ضرورى لهذه العملية ، وعندما نقل مكان تجربته إلى إحدى الزوايا المظلمة فى مختبره لم يتمكن من الحصول على النتيجة مرة اخرى وقد تمكن انجن هوز فى سنة 1779 من إثبات أن أجزاء النباتات الخضراء هى وحدها التى تستطيع أن تنقى الهواء ، ولكن بوجود الضوء فقط . وبعد هذا التاريخ بحوالى 15 عاما تم التحقق من استفادة النبات والحيوان على السواء من البناء الضوئى .

أما دى سوزر فقد نشر عددا من تجاربه الكيميائية سنة 1804 ، أثبت أن كربون النباتات يأتى من ثانى اوكسيد الكربون ، وأن الهيدروجين يأتى من الماء . ولقد مرت 40 سنة

آخرى قبل مجيء الالمانى جوليوس مير Julius Mayer الذى أثبت أن الطاقة المتحررة نتيجة احتراق النباتات أو التى تستعمل فى التحول الغذائى Metabolism ، للنباتات والحيوانات مشتقة من طاقة أشعة الشمس المثبتة فى البناء الضوئى .

ولم يحدث أى تقدم يذكر فى الأبحاث الخاصة بالبناء الضوئى حتى حوالى سنة 1910 حيث بدأ الكيميائيان الألمانيان ريتشارد ولستيتر Richard Willstatter واوتو ويربرج Otto Warburg بحثهما الحديث على الكلورفيل واستخدام الطاقة الضوئية . وقد ساعد توفر الكربون المشع (^{14}C) سنة 1945 على الابتداء فى سلسلة من الدراسات المكثفة التى كشفت بشكل تدريجى عن تعقيدات البناء الضوئى والعديد من التفاعلات المكونة له فى مجموعهما .

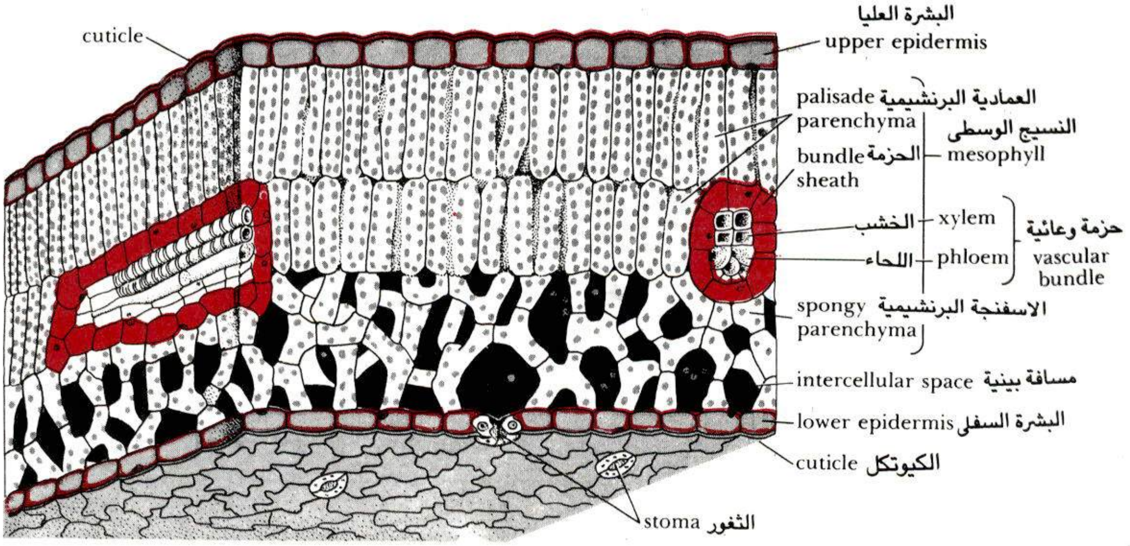
تركيب الورقة: The Structure of Leaf

بما أن الورقة هى العضو الرئيسى فى البناء الضوئى فإن معرفة تركيب هذا العضو ضرورية للتعرف من خلالها على جميع نشاطاته. وتدرس الورقة عادة بواسطة المقطع العرضى لها (شكل 5ـ2) إن أنسجة الورقة يمكن أن تقسم الى: (1) البشرة Epidermis (2) الميزوفيل (النسيج الوسطى) Mesophyll (3) الحزم الوعائية Vascular Bundles.

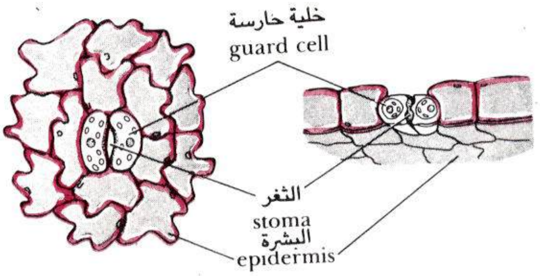
البشرة: Epidermis

تتكون البشرة من طبقة واحدة من الخلايا المتراصة لاتحتوى عموما على البلاستيدات الخضراء. وتمتد على كلا وجهى الورقة ولذا فإنها على هذا الاساس تقسم إلى البشرة العليا والسفلى upper and lower epidermis. وهى مغطاة بما يسمى بالكيوتكل (أدمة) Cuticle وهو غلالة شمعية لماعة تعيق انتقال الماء والغازات من والى الورقة. ففى الاوراق القديمة وخاصة فى النباتات الصحراوية يمكن العثور على مادة شمعية مترسبة تحت هذه الطبقة مباشرة ممايقلل من نفاذيتها، كما أن وجود طبقة سميكة من الكيوتكل يمكن أن يقلل من فقد البشرة للماء أو يمنعه نهائيا.

والورقة تفقد الماء بالدرجة الرئيسية عن طريق الثغور Stomate (شكل 5ـ3) وهى فتحات لها شكل العدسات تتخلل البشرة لتفضى الى مسافات بينية intercellular spaces داخل الورقة. وتوجد الثغور ايضا على بشرة الاغصان حديثة النمو والسيقان العشبية herbaceous stems. وفتحة الثغر عبارة عن مسافات بينية واقعة بين خليتين مع خلايا متخصصتين من خلايا البشرة الاخرى تدعيان بالخليتان الحارستين Guard Cells لاتتشابه هذه الخلايا مع خلايا البشرة الاخرى حيث تحتوى على البلاستيدات الخضراء. كما أن المنظر الخارجى النمطى للخلايا الحارسة يكون هلالى الشكل. وعند ملاحظة المقطع



شكل (5ـ2) رسم تخطيطى لمقطع ورقة مبينا خلاياها وانسجتها .



شكل (5 ـ 3) الثغر (على اليسار) : كما يظهر من السطح (على اليمين) : كما يظهر فى مقطع عرضى .

العرضى نجد ان الجدران الداخلية للخلايا الحارسة التى تشكل حدود الفتحة تظهر اكثر تماسكا، فى حين أن الجدار المحاذى للزوايا العليا والسفلى المجاورة للفتحة تكون أكثر سمكا وغالبا ماتكون نتوءا بارزا.

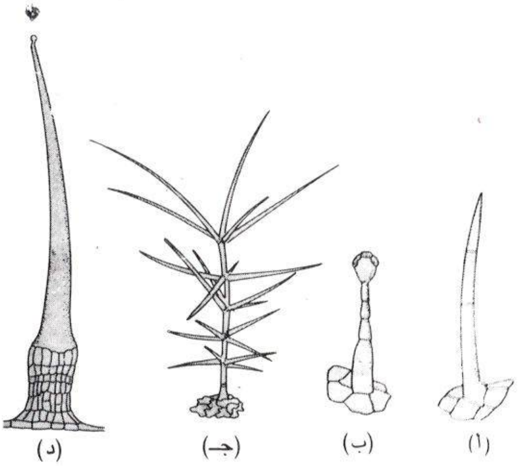
وكنتيجة لهذه التثخنات وشكل الخلايا الحارسة فإن التغيرات التى تحدث من تأثير الضغط الانتفاخى لهذه الخلايا تتسبب فى فتح وغلق فتحة الثغر. (سوف نناقش آلية فتح وغلق الثغور فى الفصل 8).

والثغور هى الطريق الرئيسى الذى من خلاله تتم عملية تبادل الغازات كبخار الماء وثانى اوكسيد الكربون والاوكسجين من الورقة الى الهواء وبالعكس. ويمكن أن تجد الثغور على البشرة العليا والسفلى ولكن عددها على البشرة السفلى أكثر منه على العليا فى العادة. إن كثيرا من النباتات الخشبية، بل وربما أغلبها لاتملك ثغورا فى طبقة البشرة العليا.

تحمل بشرة كل من الورقة والساق فى كثير من النباتات أنواعا مختلفة من الشعيرات (شكل 5ـ4) والشعيرة هى نتاج لنمو خارجى لخلية واحدة او اكثر من خلايا البشرة. ثم إن الشعيرة وحيدة الخلية يمكن ان تصبح متعددة الخلايا بتكوينها حواجز جدارية. إن مظهر الشعيرات على بشرة الاوراق غالبا مايكون مخمليا كالزغب او شبيها بالصوف او اللباد وخاصة فى نباتات المناطق الجافة ومناطق المستنقعات وجبال الالب كمناطق مرتفعة. ومن بين العديد من تحورات الشعيرات هناك الشعيرات الغدية glandular hairs والتى يمكن ان تحوى مواد لزجة، وهناك الشعيرات اللاسعة stinging hairs لنبات القراص (Urtica) ettle. وتتميز الشعيرات اللاسعة بأنها قوية ومتخنة الجدران وذات نهايات صغيرة منتفخة. وفى حالة انكسار هذه النهاية يبقى جزء حاد يمكن ان يدخل الجلد ليحقن داخله قطرة من السموم المهيجة. وهذا النبات يستعمل منذ زمن بعيد فى الاكل كخضروات خضراء، وان السموم الموجودة فيه تتلف بالحرارة أثناء الطهى. ويستفيد النبات بصورة عامة من وجود هذه الشعيرات، وكذلك تستفيد اعضاء النبات التى تتواجد فيها هذه الشعيرات، وقد يستفاد من تواجد هذه الشعيرات عند تصنيف النباتات. وعن طريق الفحوصات التى تجرى على النباتات الجافة ومساحيقها للتأكد من وجود هذه الشعيرات ونوعيتها يمكن الكشف عن حالات الغش التى قد تحدث لبعض المواد الغذائية والعقاقير الطبية.

النسيج الوسطى (الميزوفيلى): Mesophyll

يختص النسيج الوسطى بعملية البناء الضوئى فى الورقة. ويشمل هذا النسيج جميع الخلايا الواقعة بين البشرتين العليا والسفلى باستثناء الحزم الوعائية. ولخلايا الميزوفيل جدران رقيقة، تبقى محتفظة بالبروتوبلازم حيا وبالنواة حتى



شكل (5 ـ 4) شعيرات النبات Plant Hairs

(أ) شعيرة بسيطة لنبات الجيرانيوم Geranium (Pelargonium domesticum)

(ب) شعيرة غدية للجيرانيوم

(جـ) شعيرة متشعبة لنبات أذان الدب Mullein (Verbascum thapsus)

(د) شعيرة مدببة سامه Stinging Hair لنبات القريص Nettle (Urtica dioica var. procera)

بعد تمام نموها. ومثل هذه الخلايا رقيقة الجدران تشكل نسيجا برنشيميا وهى تشبه فى ذلك الخلايا التى تكون الاقسام الرقيقة فى الجذور والسيقان والازهار والثمار.

ينقسم النسيج الوسطى فى العادة الى قسمين، حيث تستطيل الخلايا التى تلى البشرة العلوية للورقة فى الاتجاه العمودى على سطح الورقة، وتوجد هذه الخلايا من طبقة او اثنتين او ثلاث طبقات متراصة. وتدعى هذه الخلايا بالبرنشيمية العمادية Palisade Parenchyma، وسميت بهذا الاسم لانها شبيهة بالسياج الوتدى المتراص.

وتحت الخلايا العمادية تقع منطقة من خلايا غير منتظمة الشكل تمتد حتى البشرة السفلى وتتخللها مسافات بينية واسعة، تدعى بالبرنشيمية الاسفنجية Spongy Parenchyma هذا وان المسافات البينية لهذا النسيج مع المسافات البينية للخلايا العمادية، التى هى اقل من سابقتها، تشكل نظاما للتهوية يمتد فى كل مكان من الورقة (شكل: 5ـ8) وينفذ هذا النظام الى الهواء الخارجى من خلال الثغور. وبسبب وجود المسافات البينية تصبح مساحة كبيرة من جدران النسيج الوسطى معرضة للهواء الموجود فى هذه المسافات. ويطلق على هذا النسيج المعرض للهواء بالسطح الداخلى للورقة internal، ويكون عادة أكبر بكثير من المساحة السطحية للورقة اى السطح الخارجى. فمثلا وجد ان مساحة السطح الداخلى لورقة الليلك lilac أكبر بثلاث عشرة مرة من مساحة سطحها الخارجى. هذا وللسطح اهمية كبرى فى عملية النتح transpiration وفى امتصاص ثانى اوكسيد الكربون عندما تكون الثغور مفتوحة.

تحتوى جميع خلايا النسيج الوسطى فى العادة على البلاستيدات الخضراء المطمورة فى السيتوبلازم الذى يحيط بفجوة مركزية كبيرة. والبلاستيدات الخضراء توجد فى الغالب بأعداد كبيرة فى الخلايا العمادية وعددها يزيد احيانا عما هو عليه فى النسيج الاسفنجى بمرتين الى ثلاث مرات. ففى ورقة عباد الشمس مثلا يكون عدد البلاستيدات الخضراء فى خلايا الطبقة العمادية بمعدل 77 بلاستيدة لكل خلية اماعددهافى الخلايا الاسفنجية فهو 27 فقط لكل خلية. ولنفرض ان حوالى 400,000 من البلاستيدات الخضراء موجودة فى كل مليمتر مربع من ورقة الدردار elm (كتقدير متحفظ)، فان مجموع المساحة السطحية لهذه البلاستيدات فى مجمل أوراق شجرة الدردار البالغة يصل الى 140 ميلا مربعا مثلا.

فى بعض النباتات كالذرة والنجيليات الاخرى (شكل: 5ـ10) وعدد من النباتات المائية والمخروطيات يكون النسيج الوسطى متجانسا او يمكن تمييز النسيجين العمادى والاسفنجى فيها بصورةبالغة. هذا وتوجد الخلايا البرنشيمية التى تحتوى على البلاستيدات الخضراء فى اقسام اخرى من النبات كالسيقان العشبية والاغصان الحديثة والثمار غير الناضجة، وتدعى بخلايا الكلورنشيما Chlorenchyma ويستخدم هذا المصطلح لكل الخلايا الخضراء سواء أكانت فى الورقة او فى اى عضو آخر.

الحزم الوعائية : Vascular Bundles

الحزم الوعائية نسيج على شكل أشرطة متخصصة، تقوم بوظيفة الدعم والتوصيل، ويمكن رؤية اكبر هذه الحزم منتشرة على سطح الورقة على صورة عروق رئيسية. والحزم الوعائية لنصل الورقة هى تفرعات للحزم الوعائية لعنق الورقة، الذى يعتبر بدوره استمرارا لانسجة الساق الوعائية. وتغطى التفرعات الكثيرة للحزم الوعائية لأوراق ذوات الفلقتين كل مساحة الورقة حيث تلتقى هذه التفرعات فيما بينها بين الحين والاخر مشكلة نظاما شبيها بالشبكة (شكل: 5ـ5) ويمكن ملاحظة الحزم الوعائية فى أغلب المقاطع العرضية لهذه الاوراق سواء فى منظرها الرأسى او الجانبى ونظام الحزم الوعائية فى الورقة متسع للغاية، ولتصوير هذا الاتساع يكفى ذكر أن إجمالى طول الاوعية الكبيرة والصغيرة فى ورقة واحدة من اوراق الدردار elm يزيد على 700 قدم.

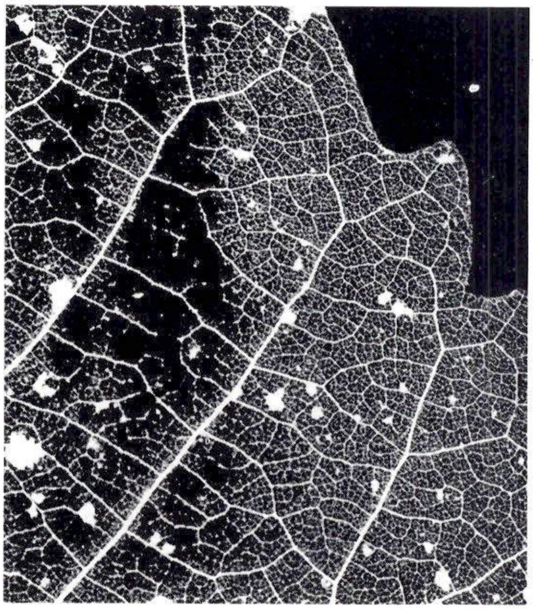
وتقع الحزم الوعائية عادة فى منتصف المسافة بين البشرتين العليا والسفلى (شكل) 5ـ2، 5ـ6، 5ـ9) وتتألف من نوعين من الأنسجة ذات الاهمية الكبرى وهما الخشب واللحاء حيث يشكلان معا الانسجة الوعائية. وتوجد هذه الانسجة ايضا فى الجذور والسيقان والازهار والثمار. ويتألف الخشب واللحاء من خلايا طويلة متكيفة لتوزيع المواد الى كل انحاء النبات. كما أن خلايا الخشب الميتة تقوم

إن اكثر خلايا اللحاء أهميــة من حيث درجة تـوصيلها هى عناصر الأنابيب الغربالية Sieve – Tube Elements شكل : (5 ـ 7 ، 7 ـ 28) وتـرجع تسميتهـا بهذا الاسم إلى وجـود فتحات تشبه فتحات الغربال فى نهاياتها ، وأحيانا فى جـدرانها الجانبية . وخلايا الأنابيب الغربالية فى النباتات الزهرية تشبه خلايا الأوعية الناقلة من حيث انتظامها الواحدة فوق الاخـرى لتكوين الانبوب الغربالى Sieve Tube .

ويوجد عدد كبير من الحزم الوعائية الأصغـر حجما ، حتى إن أغلب خـلايا النسيـج الـوسطى مـاهى إلا عـدد قليـل من الخلايا التى انفصلت عن النسيج الموصل (شكل : 5 ـ 8) . ينتقل الماء من التربة إلى خـلايا النسيـج الوسطى للـورقة عن طريق الخشب ، كما أن الغذاء الذى يصنع من خلايـا النسيج الوسطى ينتقل بالاتجاه المعاكس خلال اللحاء . وتنتهى الحزم الوعائية الصغيرة داخـل انسجة الـورقة (شكـل : 5 ـ 8) ، ويمكن لنهايات الحزم الوعـائية ان تكـون مؤلفة من عـدد قليل من الخلايا الخشبية أو من عناصر كل من الخشب واللحاء .

الحزم الوعائية الصغيرة والمتوسطة الحجم فى أوراق نباتات مغطـاة البذور angiosperm تكـون محاطـة بغمـد محكم من الخـلايا البـرنشيمية يـدعى بغمد الحـزمة Bundle Sheath (شكـل : 5 ـ 2 ، 5 ـ 6 ، 5 ـ 8) . وهذه الخـلايـا طـويلـة ممتدة بموازاة العروق veins ولها برتوبلازم حى ، وجدرانهـا رقيقة ، الا ان عدد البلاستيدات الخضراء فيها أقل منـه عادة فى خـلايـا النسيـج الـوسطى ، وفى بعض الأنـواع لا تـوجد بلاستيدات خضراء بالمرة ، والمسافات البينية غير موجودة بين هذه الخلايـا كما لا تـوجد أيضـا مسافـات بينية بينهـا وبين الحزمة الوعائية المغلقة . وتلتصق الخلايا الغمدية مبـاشرة مع كـل من النسيج العمـادى والاسفنجى ، لذا يجب ان تمـر عبر الخلايا الغمدية كل المواد التى تنتقل من والى الحزم الوعائية . ويمتـد الغمد فـوق نهايـات الحزم أيضـا ، وعليه فـإن المـواد الغذائية يمكن أن تـدخل الغمـد فى هذه المنطقـة ، حيث تنتقل خلال خلاياه إلى اقرب انبوب غربالى . إن غمد الحزمة واضـح بشكل جيد خاصة فى أوراق الذرة (شكل : 5 ـ 10) .

فى العديد من ذوات الفلقتـين dicotyledons يتسع الغمـد المحيط بالحزم المتـوسطة الحجم بحيث يمتـد الى البشرة العليا

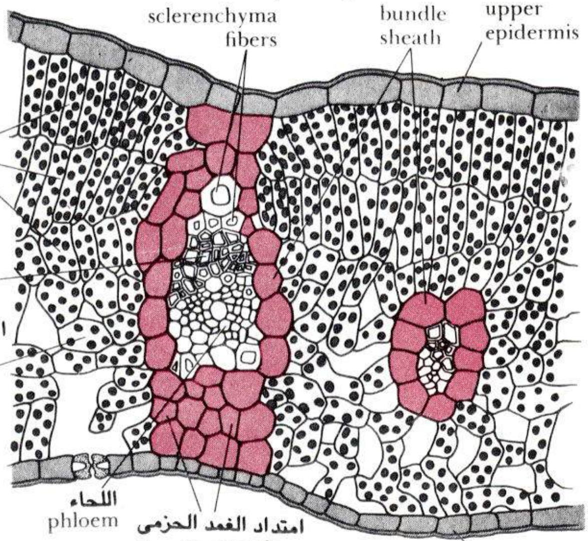


شكل (5 ـ 5)

جزء من ورقة لنبات الحور الرجراج Aspen ذى الاسنان الكبيرة (Populus grandidentata) . نزع منها الجزء الاكبر من نسيجها الوسطى وبذا ظهرت العروق الكبيرة وشعبها .

بتوصيل الماء بالاضافة الى وظيفتها فى دعم النبات. وهناك نوع متخصص من الخلايا الحية للحاء تعمل كممرات لنقل المواد.

ويتألف الخشب فى النباتات الزهرية من عدة انواع من الخلايا، واكثرها أهمية من حيث التوصيل هى خلايا الاوعية الناقلة Vessel Elements (شكل: 5ـ7) وهى خلايا طويلة نوعا ما، ذات نهايات مفتوحة، ويكون المجموع المتسلسل من هذه الخلايا مايدعى بالوعاء vessal، ويتكون تغلظ على الجدران الابتدائية لبعض هذه الاوعية، تسمى بالجدران الثانوية التى لاتكون كاملة، أى ـ تتقطع فى بعض المناطق على شكل حلقات او على شكل حلزون او اى نموذج آخر داخل الجدار الاولى (شكل: 5ـ7، 5ـ8). وتتمكن هذه الخلايا من أداء وظيفتها كانابيب يضخ فيها الماء بشد معين مع محافظتها على شكلها، وذلك بفضل صلابة الجدران الخشبية الثانوية. وتموت الأوعية الناقلة عند تمام نموها ويبقى منها فقط جدارها الصلب النفاذ.



شكل (5 ـ 6).

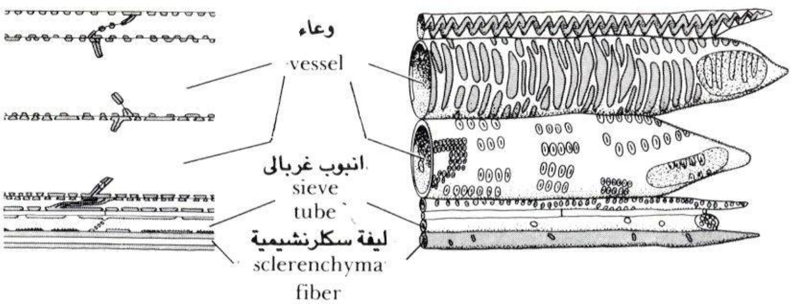
قطاع عرضى فى ورقة التفاح Apple (Pyrus malus)
حيث يظهر الغمد الحزمى وامتداداته .
يتكون النسيج العادى من طبقات ثلاث .

أو السفلى ، وفى أغلب الاحيان ، إلى كليهما معا (شكل : 5 ـ 6) . كما أن هذه الخلايا الممتدة بين البشرتين لا تحتوى على البلاستيدات الخضراء ، ويمكن لجدرانها أن ـ تكون أكثر اتساعا وأكثر سمكا من خلايا الغمد نفسه ، وبسبب طبيعتها وموقعها يكسب الغمد الممتد دعما ميكانيكيا لنصل الورقة . وعلاوة على ذلك فإن التجارب قد أثبتت أن الأصباغ المحقونة فى الورقة تنتقل بسرعة من الحزم الوعائية الى خلايا الغمد الممتدة بين البشرتين ومنها تنتقل إلى كل من البشرة العليا والسفلى . وإن الماء المفقود من الورقة عن طريق التبخر يمكن أن يعوض من خلال خلايا هذه الأغمدة ومن طبقات البشرة .

وعلاوة على الخشب والأغمدة المتسعة التى تعطى الدعم الميكانيكى للورقة توجد عادة خلايا أخرى ـ وظيفتها الدعم أيضا . وأغلب هذه الخلايا هى ألياف سكلرنشيمية Sclerenchyma Fibers وهى مرافقة عادة للحزم الوعائية الكبيرة . وهذه الألياف تكون سميكة الجدران ، وهى خلايا طويلة جدا ذات نهايات مدببة (شكل : 5 ـ 7) . وكما هو الحال فى الأوعية فإن الألياف البالغة خالية من البروتوبلازم ، وتصبح وظيفتها إذ ذاك التقوية والدعم فقط وليس التوصيل .

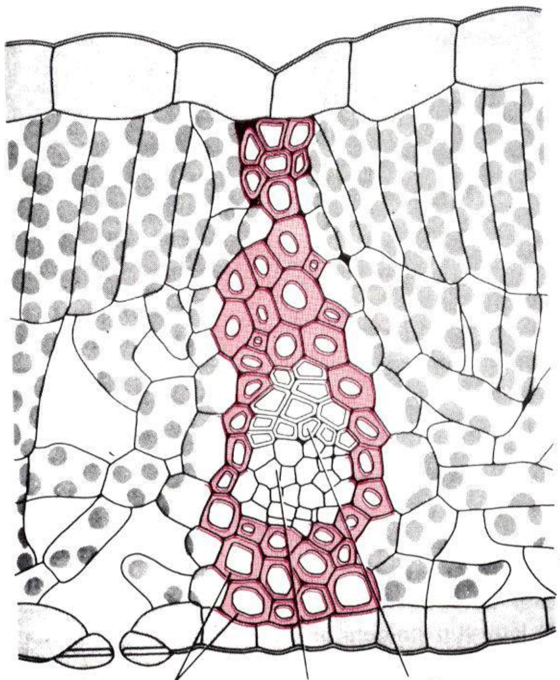
فهى تساعد على منع تهدل الورقة نتيجة فقدها للماء ، كما تساعد الورقة أيضا على مقاومة الرياح الشديدة . تحتوى الحزم الوعائية الواسعة فى الكثير من الأوراق على ألياف فى صورة غمد يحيط بالحزمة أو كمجاميع فوقها وتحتها . ويمكن أن تمتد هذه الالياف حتى البشرة العليا والسفلى حيث يشكل تركيبا شبيها بالعوارض ، لها تأثير كبير فى تقوية الورقة (شكل : 5 ـ 9 , 5 ـ 10) . وتوجد الالياف **سكلرنشيمية** أيضا فى عنق الورقة والساق وأجزاء اخرى من النبات .

سقوط الورقة: Leaf Abscission إن سقوط الأوراق هى صفة من صفات النباتات الخشبية والكثير من النباتات غير الخشبية أيضا . فسقوط الورقة أو انفصالها سببه تكون طبقة فاصلة Separation Layer ، وهى منطقة من خلايا برنشيمية متخصصة ـ تمتد عبر قاعدة عنق الورقة (شكل : 5 ـ 11) . وقبيل نهاية موسم النمو تذوب بكتينات pectins جدران خلايا هذه الطبقة بفعل أنزيمات معينة ، وبذلك تنفصل الخلايا ويبقى العنق متصلا بالفرع عن طريق الحزم الوعائية فى الأساس . ويعجل بسقوط الورقة ، العوامل المحيطة كانكماش العنق فى الايام الدافئة أو المشمسة أو الرياح أو



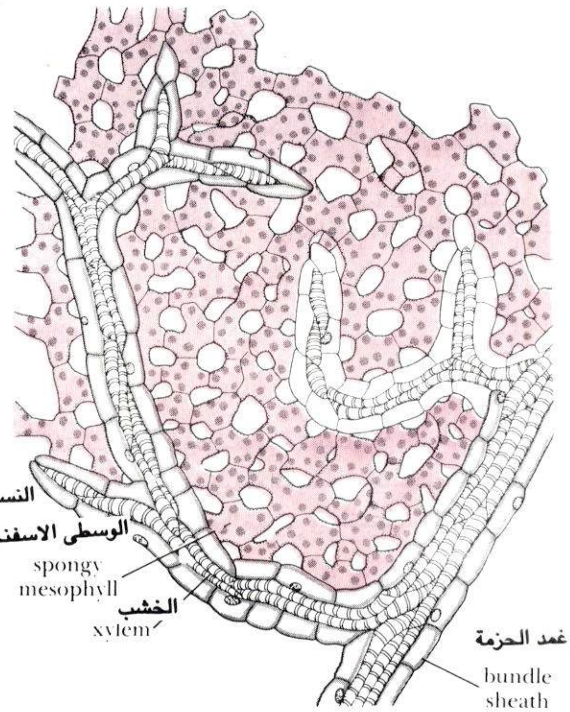
شكل (5 ـ 7)

رسمان تخطيطيان يوضحان خلايا الخشب واللحاء الأساسي لعرق متوسط الحجم لورقة البلوط Oak (Quercus rubra)
(اليسار) الخلايا كما تظهر فى المقطع
(اليمين) منظر الخلايا من الخارج .



شكل (5 ـ 9)

مقطع عرضى فى جزء صغير من ورقة البلوط الاحمر red Oak (Quercus Rubra) ويبين تقوية الورقة بألياف سكلرنشيمية تحيط بالحزمة وتمتد من البشرة العليا الى السفلى

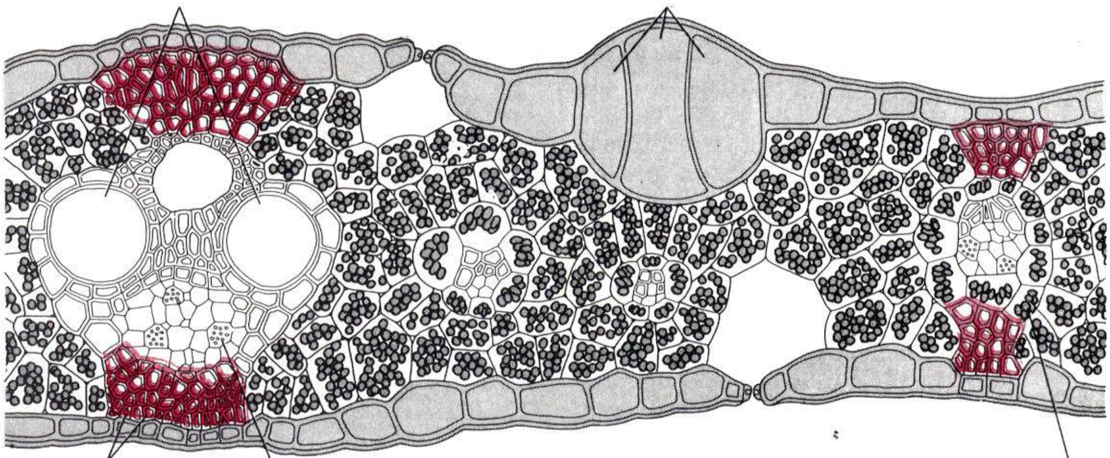


شكل (5 ـ 8)

مقطع طولى فى الورقة خلال النسيج الوسطى الاسفنجى (ملون) تنتهى تشعبات العروق الاصغر فى النسيج الاسفنجى

سقوط المطر على الورقة أو تكون بلورات من الجليد ضمن طبقة الانفصال . وقبيل سقوط الورقة أو بعده بفترة قصيرة تتكون طبقة من الفلين تحت طبقة الانفصال مباشرة لحماية الأنسجة المكشوفة من الساق .

ولسقوط الورقة أهمية اقتصادية كبرى بالنسبة لنبات القطن ، حيث يساعد السقوط المبكر للاوراق على تسهيل جنى المحصول يدويا ، ويعتبر ضروريا بالنسبة للجنى المكنن . وهناك أيضا العديد من المواد الكيميائية التى تساعد على



شكل (5 ـ 10) ويبين ثلاثة أنواع من الحزم الوعائية . يعتقد بفقد مقطع عرضى فى جزء من ورقة الذرة Corn (Zea mays) الضغط الانتفاخى فى الخلايا المحركة Bulliform Cells

الاسراع فى سقوط الاوراق ، الا انه لا ينصح باستعمالها لأن بعض الأوراق تموت ولكنها لا تسقط بحيث تختلط مع ألياف القطن اثناء الجنى مما يخفض من رتبته .

عملية البناء الضوئى : Photosynthesis – The Process

لقد جرى التأكيد على أهمية البناء الضوئى باعتباره أساسا للحياة سواء فى انتاج الغذاء أم فى تحرير الاوكسجين أثناء العملية . ويعتبر البناء الضوئى أيضا أحد أكثر العمليات البيولوجية تعقيدا ، بسبب العدد الكبير من التفاعلات الفيزيائية والكيميائية التى تتضمنها ، والتى تتسبب فى تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية فى مركبات عضوية . وتشمل دراسة البناء الضوئى حقول الفيزياء الاشعاعية radiation physics والكيمياء الضوئية photochemistry والكيمياء الحيوية ، كما تشمل أيضاً علوم الشكل الخارجى والخلية والفسيولوجيا وكذلك بيئة النباتات الخضراء . ولكل من المتخصصين فى الفيزياء والكيمياء والنبات والزراعة شأن فى تفاعلات عملية البناء الضوئى ونواتجها .

التفاعل الكلى The Over-all Reaction تكتب المعادلة الكيميائية للبناء الضوئى بالشكل التالى :

$$6CO_2 \quad + 6H_2O \quad + 672\ kcal \longrightarrow$$

ثانى اكسيد الكربون — ماء — طاقة ضوئية

$$C_6H_{12}O_6 \quad + 6O_2 \quad (1)$$

جلوكوز — اوكسجين

---

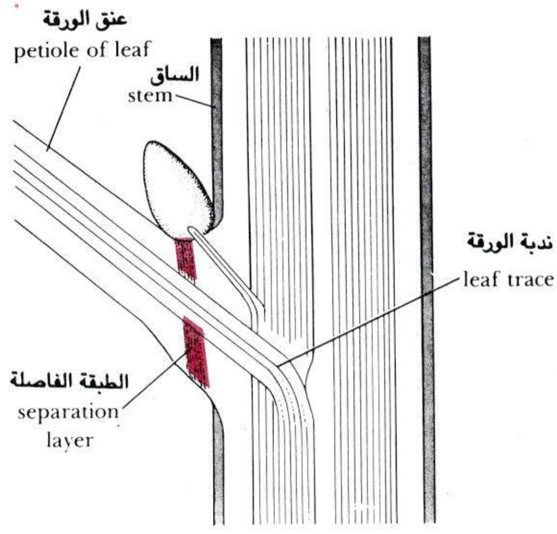
* الكيلو ـ سعر هو الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة 1000 غرام من الماء من 14.5 م° الى 15.5 م° ، أو لتسخين ربع غالون تقريبا من الماء 2 ف° . كما يمكن الحصول على 672 كيلو سعر عند حرق غرام ـ وزن جزيئى (180 غرام أو اكثر بقليل من 6 اوقيات) من الجلوكوز . وهذه الطاقة كافية لتسخين كمية من الماء لاستحمام إنسان .

فى هذه المعادلة نجد أن ستة جزيئات من ثانى اوكسيد الكربون تتحد مع ستة من جزيئات الماء لتكوين جزىء واحد من الجلوكوز وستة جزيئات من الاوكسجين . والجلوكوز يعرف أيضا بالدكستروز dextrose أو سكر العنب أو الذرة وهو مادة كربوهيدراتية مؤلفة من عناصر الكربون والهيدروجين والاوكسجين شكل (5 ـ 12) . وكان الجلوكوز قد اعتبر الناتج المباشر للبناء الضوئى ، ولكن نتائج البحوث الحديثة أظهرت أن سكر الفركتوز القريب منه (شكل : 5 ـ 12) هو الذى يتكون فى البداية إن ثانى اوكسيد الكربون والذى يدخل فى التفاعل يأتى من الهواء ، كما يأتى الماء من التربة ، أما الطاقة فمن الضوء . وتجدر ملاحظة أن الطاقة المستردة من حرق غرام وزن جزيئى (مول Mole) من الجلوكوز تقدر بـ 673 كيلو سعر حرارى ، بينما يجب إعطاء ما يقارب ثلاثة أضعاف هذه الطاقة لانتاج مول واحد من هذا الجلوكوز . أما الاوكسجين المتحرر أثناء العملية كناتج عرضى فيعتبر ذا أهمية قصوى للنباتات والحيوانات .

ونتيجة لاستخدام الاوكسجين الثقيل (^{18}O) كنظير مشع يمكن تتبعه خلال العمليات البيولوجية أو الكيميائية ، تبين أن جميع الاوكسجين المتحرر من البناء الضوئى مشتق من الماء (H_2O) وليس من ثانى اوكسيد الكربون CO_2 كما كان يعتقد سابقا . وعليه فالمعادلة (1) يجب ان تعدل لتبيان هذه العلاقة :

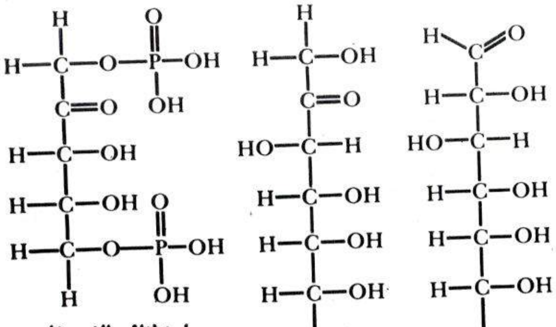
$$6CO_2 + 12H_2O + \text{radiant energy طاقة ضوئية} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2. \quad (2)$$

ذرات الاوكسجين المعلمة باللون الأحمر ترينا أصل الاوكسجين المتحرر . ويلاحظ هنا أيضا فى هذه المعادلة أن جزيئات جديدة من الماء تتكون بالاضافة الى جزيئات الاوكسجين . والجدير بالذكر أن جزيئات الماء هذه لا تشكل الا جزءا ضئيلا من كمية الماء التى تمد بها الخلية للحياة . وعلى الرغم من ذلك فلقد كشف علماء الكيمياء وفسيولوجيا النبات عن الكثير الهام نتيجة اكتشاف حقيقة تكون جزيئات الماء هذه .



شكل (5 ـ 11)

رسم تخطيطى يبين وضع الطبقة الفاصلة التى تتكون قبل سقوط الورقة



ريبلوز ثنائى الفوسفات
ribulose
diphosphate

فركتوز
fructose

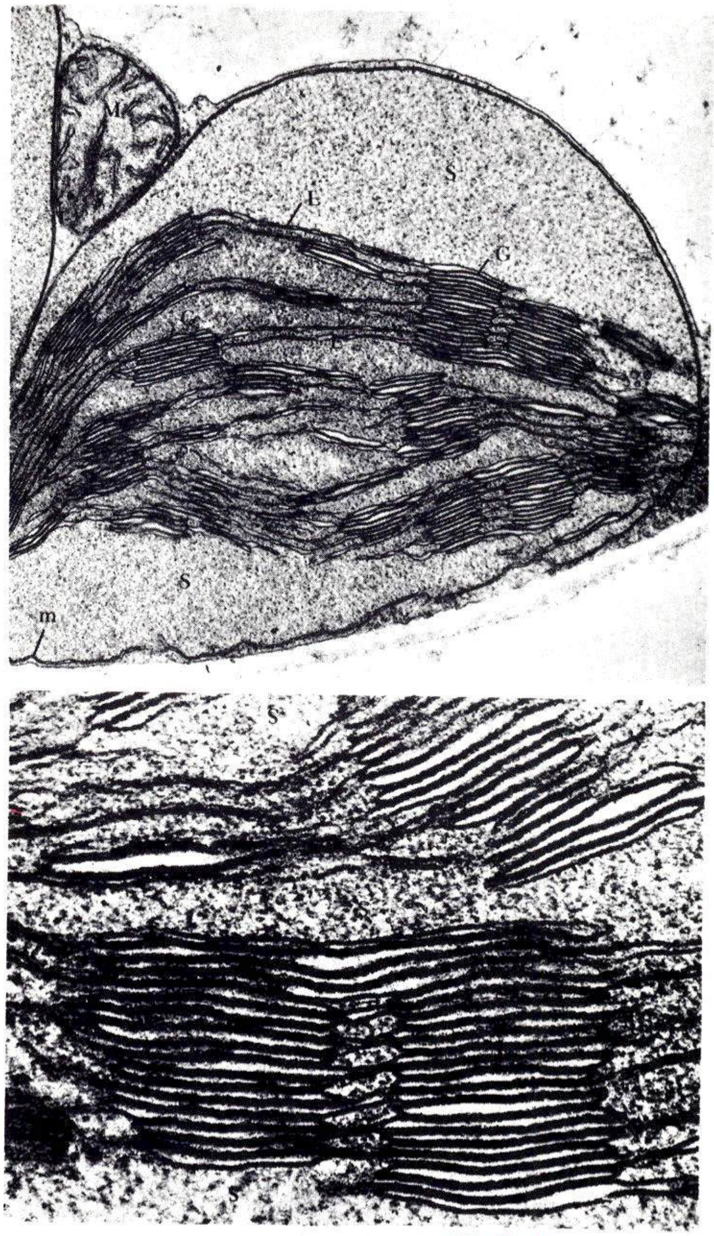
جلوكوز
glucose

شكل (5 ـ 12)

تركيب ثلاثة جزيئات هامة للسكر ، موضحة فى الشكل السلسلى المفتوح . بداية ترقيم ذرات الكربون من الاعلى 1ـ2

تركيب البلاستيدات الخضراء : Structure of the Chloroplasts

لهذه العضيات تركيب داخلى معقد لايمكن رؤيته الا بالمجهر الالكترونى (شكل : 5 ـ 13) . وكل عضية محاطة

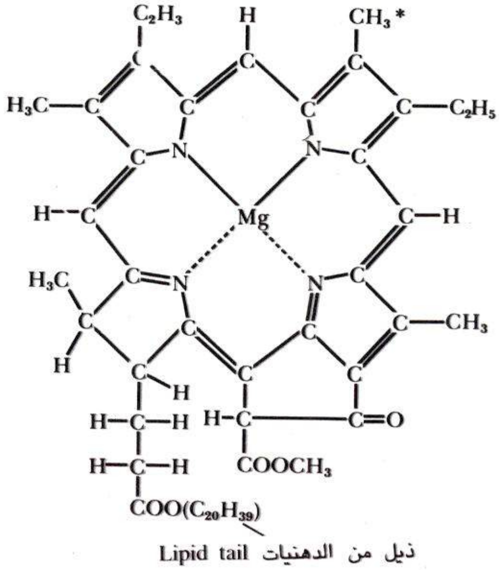


شكل (5 ـ 13)
صورة بالمجهر الالكتروني : بلاستيدة خضراء لنبات عباد الشمس
Sunflower (Helianthus annuus) (الاعلى)
مقطع فى بلاستيدة خضراء كاملة (تكبير 2500) (m)
الغشاء المحدد، (S) ستروما (G) ، (L)
صفائح الجرانا Intergranum (M) Lamellae ميتكوندريا فى نفس الخلية
(الاسفل) : جزء من نفس البلاستيدة (تكبير 9300) ويبين الصفائح والاقراص

بغشاء مزدوج يحصر داخله مادة حبيبية تسمى بالستروما Stroma ، ويتخلل الستروما مجموعات من التراكيب الطبقية تدعى بالصفائح lamellae مؤلفة اساسا من البروتينات، واشباه الدهنيات . وتكون الصفائح هذه فى غالبية النباتات الراقية منتظمة على شكل اقراص Disks أو ثيلوكويدات Thylakoids . وكل قرص مزدوج على نفسه (كرغيف الخبز) ، مكونا حيزا مقفولا . وتتجمع هذه الاقراص فى مجاميع تدعى بالجرانا Grana ، وهى تركيب اسطوانى من أقراص متحدة المحور . وتتألف كل جرانا من عدد من الأقراص يتراوح من 5 ـ 25 ، أما عدد الجرانات فى كل بلاستيدة خضراء فيتراوح من 40 الى 80 . وتترابط هذه الجرانات كل بما يليها بواسطة نظام من الانابيب المفلطحة تدعى بالصفائح الرابطة البينية intergranum lamellae . أما أنواع الكلورفيل والكاروتينيات فتوجد متحدة مع البروتين فى الأقراص . ولايمكن بأى من الاحوال تجاهل أهمية الستروما فى البلاستيدة . إذ أن حبيبات النشاء تتكون فى الستروما كما تحوى الاخيرة انزيمات تفاعلات الظلام "dark reactions" فى عملية البناء الضوئى . بينما تتركز تفاعلات الضوء فى الجرانا .

الكلوروفيل: **Chlorophyll** تمتص جزيئات الكلوروفيل الطاقة الضوئية حيث تبدأ تفاعلات البناء الضوئى. وتدخل هذه الجزيئات ضمن مجموعة من المركبات الحيوية المهمة، ومنها مثلا الهيموجلوبين وهى الصبغة الحمراء فى الدم. تحتوى النباتات الراقية على نوعين من الكلورفيل هما كلوروفيل (a)الاخضر المشوب بالزرقة ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) وكلوروفيل (b) الاخضر المشوب بالصفرة ($C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$) . ويوضح الشكل (5 ـ 14) تركيب كلوروفيل (a). اما تركيب كلوروفيل (b) فيختلف عن كلوروفيل (a) فقط بوجود مجموعة من CHO بدلا من CH_3، فى الموقع المعلم بالنجمة فى اعلى الشكل من جهة اليمين. هذا ولون الكلورفيل وفعاليته فى امتصاص ضوء الشمس يرجع الى التركيب التبادلى بين الاصرة المفردة (-) والاصرة المزدوجة (=) للتركيب الحلقى حول الجزئى المركزى للمغنسيوم. اما الذيل الطويل لاشباه الدهنيات المكون من وحدات الـ H-C-H فيأخذ على عاتقه تثبيت اتجاه جزئى الكلوروفيل فى طبقات اشباه الدهنيات والبروتين للجرانا.

تختلف الكميات النسبية لصبغات كلوروفيل (a) و (b) بعض الشيء ولكنها عموما توجد فى النباتات الزهرية بنسبة حوالى 3 اجزاء من كلوروفيل (a) الى جزء واحد من كلوروفيل



شكل (5ـ14) تركيب كلورفيل ـ a . يحوى الكلورفيل ـ b مجموعة من الـ CHO بدلا من مجموعة CH_3 عند الطرف الاعلى الايمن (معلم بنجمة) .

(b) هـذا ويوجـد كلوروفيـل (a) دائما فى النبـاتـات الخضراء الارقى من البكتريا. كما ان بكتريا البناء الضوئى تحتوى عـلى صبغة ذات علاقـة قريبـة منه امـا كلوروفيـل (b) فيوجـد مع كلـوروفيـل (a) فى الطحـالب الخضراء وفى جميـع النبـاتـات الراقية. وهنـاك تحورات اخـرى تعرف بكلـوروفيل (c) و (d) و (e) وتحل هذه الانواع محل كلوروفيل (b) فى بعض الطحـالب او محـل كلوروفيـل (c) فى الطحـالب البنيـة brown algae او الـدياتـومات diatoms او محـل كلوروفيـل (d) فى الطحـالب الحمـراء red algae ويقـوم كل من كلـوروفيل (b) و (c) و (d) و (e) بنقل طاقة الضوء التى تمتصنها الى كلوروفيـل (a) ولاتستخـدمهـا مباشرة وتحتـوى الطحـالب ايضـا عـلى صبغات مساعدة غير كلـوروفيلية: الخضراء والبنيـة والحمراء والتى تنقل الطاقة الى كلوروفيـل (a) وان بعض الكاروتينيـات الصفراء تعمل ايضا عمل الصبغـات المساعـدة (الفصل ـ 3) وسوف نناقش فيما بعد كيفية انتقال الطاقة الممتصة وتحويلها الى طاقة كيميائية.

ان اللـون الاخضر للكلوروفيـل يدل عـلى ان الجزئى يمتص ـ الضـوء. ويمكن ملاحظـة ذلك بـوضوح عنـد تعريض انبـوبة اختبار بها محلول الكلوروفيل لمصدر ضوئى، حيث يلاحظ لـون احمر داكن ناتـج عن التفلور Fluorescence وهـو امتصاص جزيئات الكلوروفيل للطـاقة الضـوئية ثم اعـادة اشعاعهـا من جديد، ولاتستغرق هذه العملية اكثر من جزء من الثانيـة بطول المـوجة المميـز لكلوروفيـل (a). ويدل التفلـور على ان جـزىء كلـوروفيل (a) قـد ارتفع مستـواه الطاقى الى مستـوى اعـلى بفضل الضوء مهمـا قصرت مدتـه. ويمكن التحقيق من انتقال الطاقة من الكلوروفيلات الاخـرى الى كلوروفيـل (a) بواسطـة الفلورة ايضا. فلو مزجنا احدى الصبغات المساعـدة هذه مـع كلوروفيل (a) وعـرض الخليط الى ضوء بطـول موجـة تمتصها الصبغـة بصورة رئيسيـة لنتج اللـون وشدة التفلـور المميزان لكلـوروفيل (a) وحـده وبنفس كمية طـاقتـه وطـول مـوجتـه. نستخلص من ذلك الطاقة الممتصة بواسطة الكلوروفيل الثانى قـد انتقلت الى كلوروفيـل (a) وفى هذا المثـال فانهـا قد انتقلت باكملها تقريبا.

امتصاص الطاقة بواسطة الاوراق Absorption of Energy by Leaves

ان الاشعــة القـادمــة من الشمس تمتص بدرجات مختلفة من قبل الغازات والابخرة والاتربة العـالقة فى الجـو قبل وصـولها الى الـورقـة، ان قسمـا من الاشعـة التى تصطدم بالورقة تمتص وينعكس قسم اخر، بينما ينفـذ القسم الثالث من خلالها، اما الكمية التى تمتصها الاجـزاء الحاويـة للصبغات من الورقة فتعتمد على تركيب الورقة نفسها وعوامـل اخـرى. ولكن يمكن ان تصل هـذه الكمية الى 50٪ من طـاقـة اشعـة الشمس التى تصطدم بـالورقـة. كما ان الاشعـة التى تمتص هى وحـدها التى تستطيـع ان تزود الـورقة بـالطـاقـة الـلازمة لعمليـة البناء الضـوئى. غير ان الـورقـة لاتستطيـع الانتفـاع من الطاقـة التى تصلها بكفـاءة عاليـة. فلقـد وجـد بطريقة حسابية انه فى ظروف الايـام الشمسية لاتـزيد نسبـة الطـاقة المحـولة الى طـاقة كيميـائية عن 3٪ من الطـاقـة التى تمتصها الورقة، بل انهـا لاتزيـد عن 1٪ فى كثير من الحـالات. وتزداد كفاءة الورقة فى تحويل الطاقة الضوئية الى كيميـائية فى ظروف الضوء القليل حتى يصل الى 10 ـ 15 ٪.

ان الجزء المرئى من الاشعة الشمسية يمكن فصله بواسطة المـوشور الضـوئى البسيط الى عـدد من الالـوان التى تـدعى

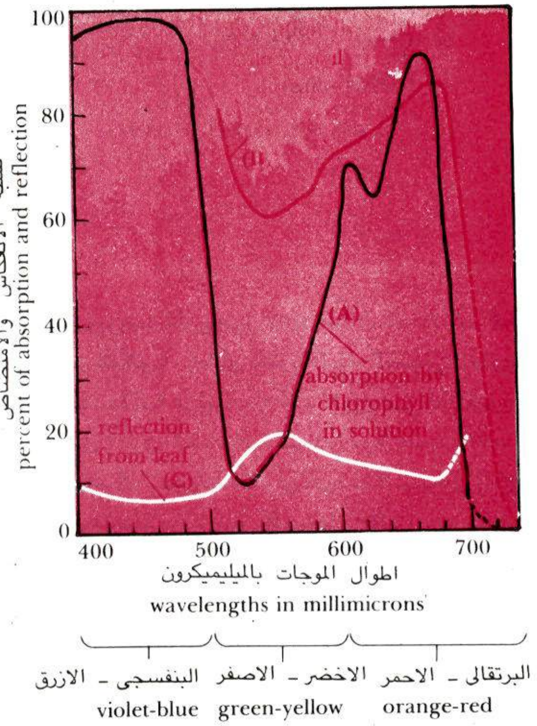
بالطيف المرئى visible spectrum، واللون الذى يشاهد فى كل قسم من اقسام الطيف ناتج عن الاختلاف فى طول الموجة، فالمنطقة البنفسجية التى تقع فى احد طرفى الطيف تتحول الى المنطقة الزرقاء تدريجية وبشكل غير ملحوظ ومنها الى الخضراء ثم الصفراء واخيرا البرتقالية ثم الحمراء. وتقاس اطوال الموجات الضوئية بالميللميكرون (m u) الذى يساوى واحدا من ألف من الميكرون (u) ويتراوح طول موجات الطيف المرئى من حوالى 400 m u عند الطرف البنفسجى الى حوالى 760 m u عند اقصى الطيف الاحمر (شكل 5 ـ 15).

هناك نسبة قليلة من الاشعة الشمسية هى فوق البنفسجية، وماتبقى من الطيف الشمسى نصفه واقع فى منطقة الضوء المرئى الذى ندعوه بالضوء ونصفه الاخر تقريبا فى منطقة تحت الحمراء. ولايمتص الكلوروفيل من الاشعة فوق البنفسجية او تحت الحمراء الا النذر اليسير، ولذلك لاتشكل هذه الموجات اهمية كبيرة بالنسبة لعملية البناء الضوئى.

وبما ان اطوال الموجات التى تنعكس على الشىء هى التى تعطى الشعور بلونه، فان اللون الاخضر للاوراق يمكن تفسيره على اساس ان معظم اشعة الشمس من طول الموجة الخضراء تنعكس على سطح الورقة وذلك لان هذه الموجات لايستفاد منها كثيرا او بالمرة فى البناء الضوئى. ويمكن تأكيد ذلك من خلال دراسة امتصاص الضوء الابيض بواسطة محلول الكلوروفيل، حيث ان اغلب الامتصاص يحدث فى منطقة الضوء الازرق والاحمر، واقل نسبيا فى وسط الطيف اى منطقة الضوء الاخضر (شكل: 5 ـ 15 أ) ومما يجدر ذكره ان طيف الامتصاص للورقة (شكل 5 ـ 15 ب) يختلف بشكل واضح عن طيف الامتصاص لمحلول الكلوروفيل، علما بان السنتيميتر المربع من سطح الامتصاص لمحلول الكلوروفيل كان يحوى نفس الكمية من الكلوروفيل الذى يحويه السنتمتر المربع من الورقة، ويبين الجدول التالى هذا الاختلاف.

	البنفسجى ـ الازرق m u 500 ـ 400	الاخضر ـ الاصفر m u 600 ـ 500	البرتقالى ـ الاحمر m u 700 ـ 600
الصبغة فى المحلول	٪95	٪23	٪75
الصبغة فى الورقة	٪90	٪68	٪78

وفى هذا المحلول يمكن ملاحظة معدل امتصاص الضوء لمناطق الالوان العامة الثلاثة فى الطيف. وكثيرا مايقل الاختلاف بين نسبة امتصاص الضوء الاخضر بواسطة الكلوروفيل فى المحلول والورقة. الا ان هذا الاختلاف يعتبر من الاهمية بمكان، ذلك لان كمية الضوء ذات طول الموجات المطابقة للون الاخضر تشكل جزءا رئيسيا فى طاقة ضوء الشمس، كما ان كمية الطاقة الممتصة بواسطة كلورفيل الورقة من طول الموجات الخضراء لها نفس فعالية كمية طاقة الطيف الازرق والاحمر فى عملية البناء الضوئى. ان الزيادة الكبيرة فى امتصاص الضوء الاخضر بواسطة الورقة ـ اذ يقارب ثلاثة اضعاف مايمتصه كلوروفيل المحلول فى التجربة ـ مرجعها تعدد انكسارات الضوء بفعل التراكيب السيتوبلازمية



شكل (5ـ15) نسبة امتصاص الضوء وانعكاسه من قبل الكلورفيل.
(المنحنى ـ أ) يمثل امتصاص محلول الكلورفيل للضوء.
(المنحنى ـ ب) يمثل امتصاص نفس كمية الكلورفيل فى الورقة للضوء.

تلاحظ ان الكلورفيل فى الورقة قد امتص كمية من الضوء الاخضر تقدر بثلاثة اضعاف ماامتصه كلورفيل المحلول.

(المنحنى ـ جـ) تظهر الورقة بلونها الاخضر بسبب ان ماتعكسه من الضوء الاخضر اكبر قليلا من الموجات الاخرى من الضوء.

والبلاستيدات الخضراء. ومن هنا نخلص الى ان اللون الاخضر هو لون هام فى عملية البناء الضوئى. ومع ان الضوء الاخضر يمتص بشدة بواسطة الورقة الا ان قسما منه ينعكس (شكل : 5 ـ 15 جـ) وعليه فعلى الرغم من ان الكلوروفيل يمتص وينتفع بالاشعة الساقطة عليه بكل موجات الطيف المرئى، الا ان لون الورقة الاخضر مرجعه الى ان الكلوروفيل يمتص كمية اقل من الضوء الاخضر ويعكس الكمية الاكبر منه.

وبسبب ان الورقة تستطيع امتصاص اشعة الطيف المرئى باى طول موجة من موجاته (ماعدا الحمراء الطويلة) والاستفادة منها، فان النباتات تستطيع ان تنمو تحت ظروف الضوء الاصطناعى وتنتفع به بالمقدار الذى يتشكل منه طيفه المرئى. وبما ان شدة الضوء المناسبة لنمو اغلب النباتات تزيد عن 50 ضعف شدة الاضاءة المطلوبة للقراءة الجيدة فان استخدام الضوء فى الحدائق يكون مكلفا على هذا الاساس.

تحولات الطاقة فى البناء الضوئى: Energy Changes in Photosynthesis

تحويل ثانى اوكسيد الكربون والماء الى سكر يحتاج الى طاقة . وكما هو معروف فان الطاقة لاتفنى ولاتستحدث ولكن تتحول من شكل الى اخر. وان اهم اشكال الطاقة هى الميكانيكية والكهربائية والحرارية والاشعاعية والكيميائية. والذى يحدث فى البناء الضوئى ان بعضا من الطاقة الاشعاعية للضوء يتحول الى طاقة كيميائية تخزن فى جزىء السكر.

مع ان للضوء خواص موجية فانه يمتص كدقائق particles تدعى فوتونات photons ويمثل الفوتون تجمعا صغيرا جدا من الطاقة ينبعث او يمتص بواسطة الذرات او الجزيئات مثل سلك المصباح او من الشمس، ويسير الضوء بسرعة مقدارها 3×10^{10} سنتيمتر فى الثانية او (186و000 ميل / الثانية) وطاقة الفوتون الواحد تدعى بالكوانتم quantum وهى تتناسب عكسيا مع طول الموجة. ولذلك فان فوتون الضوء الاحمر ذات الموجات الطويلة طاقته اقل من فوتون الضوء الاخضر او الازرق. ولقد اختير الكوانتم كوحدة للطاقة فى البناء الضوئى.

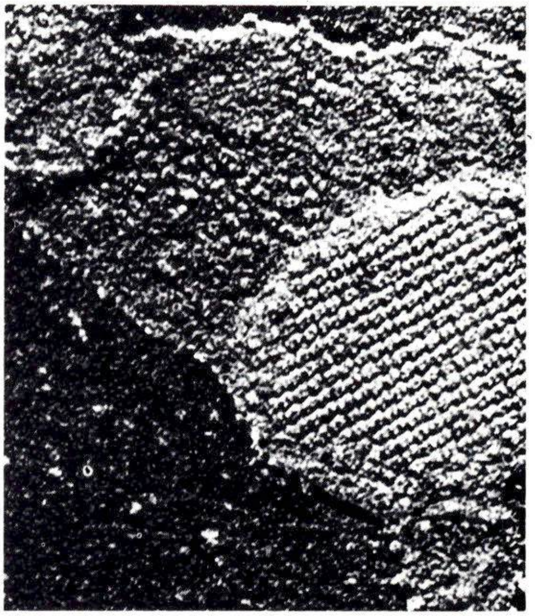
وتستفيد عملية البناء الضوئى من الاشعة ذات اطوال الموجات التى تستطيع الكلوروفيل والصبغات المساعدة له امتصاصها (شكل : 5 ـ 15) ان أطول الموجات التى يمتصها كلوروفيل (a)وتستخدمها النباتات الخضراء هى حوالى 700 m u اما بكتريا البناء الضوئى فتستخدم موجات غير مرئية للعين بطول 890 m u وذلك لاختلاف كلوروفيلها، لذا تستطيع ان تقوم بعملية البناء الضوئى فى الظلام.

وعلى الرغم من أن طاقة فوتون الضوء الأحمر قليلة . إلا ، أنها تكون كبيرة إذا ما قورنت بطاقة الحركة التى يحويها جزىء الكلورفيل . لذلك لا تتغير طاقة الحركة لدى جزىء الكلورفيل اذا امتص طاقة الفوتون ، ولكن بدلا من ذلك ترتفع طاقة احد الكترونات الجزىء الى مستوى اعلى كثيرا من الطاقة التى كان يملكها سابقا . وتسمى حالة الجزىء اذ ذاك بالحالة غير المستقرة (او المثارة) excited state . إن مثل هذه الالكترونات يمكن ان تترك جزىء الكلورفيل كلية ، أو يمكن ان ترجع الى حالتها الاولى بعد فقدها للطاقة على شكل حرارة او بالفلورة كضوء أحمر . وهذه الحالة غير المستقرة للالكترون المتهيج (من بداية امتصاص الفوتون لحين الاستفادة منه فى البناء الضوئى) لا تستغرق إلا جزءا من مليون فى الثانية .

وحدات البناء الضوئى : Photosynthetic Units

إن احدى المشاكل التى كانت تعترض فهم آليه البناء الضوئى قد حلت من خلال اكتشاف ترتيب. جزيئات الكلورفيل ضمن الاقراص التى تتألف منها جرانا البلاستيدات الخضراء . وتشير الدراسات التفصيلية لتفاعل الضوء ، ونسب مختلف الجزيئات إلى أن الكلورفيل يعمل كمجاميع متقاربة من الوحدات ربما تتألف كل مجموعة من 200 من الجزيئات والذى يدعم هذه النظرية هى الصور المأخوذة بالمجهر الالكترونى (شكل : 5 ـ 16) ، حيث يتبين أن الكلورفيل يحوى على تراكيب ذات حجوم تستطيع ان تستوعب هذا العدد من جزيئات الكلورفيل . ولكل وحدة من وحدات البناء الضوئى هذه مركزان للتفاعل . وضمن هذين المركزين يوجد جزىء من كلورفيل (a) جنبا الى جنب مع البروتينات الانزيمية والجزيئات المستلمة للالكترونات electron acceptor ، مع الانظمة الناقلة للالكترونات وجميع المواد الاساسية الخاصة بآلية التفاعل الضوئى فى عملية البناء الضوئى light reaction of photosynthesis .

إن المجاميع السطحية لجزيئات الكلورفيل الصفيحية تتكفل بأسر الوحدات المبعثرة للطاقة الاشعاعية . وتستطيع الطاقة عند أسرها أن تنتقل خلال جزيئات الكلورفيل المتقاربة من الجزيئات ذات المستوى الطاقى الاعلى الى الجزيئات



شكل (5ـ16) وحدات البناء الضوئى photosynthetic units
التراكيب الرباعية الموجودة على سطح اقراص الجرانا يعتقد انها مواقع يتم فيها كل تفاعلات الضوء فى البناء الضوئى انظر شكل (5ـ18) .

التى مستواها الطاقى أقل حتى تصل الى مراكز التفاعل حيث يتم استخدامها فيه . ولا تستغرق انتقال الطاقة هذا الى مراكز التفاعل إلاّ جزء من مليار عن الثانية . وهكذا فإن وحدة البناء الضوئى تجلب الطاقة من الضوء الخافت الى احد المراكز التى تستطيع الاحتفاظ بها واستخدامها فى مراحل ثتبيت الطاقة فى البناء الضوئى قبل فقدها . ومن المسلم به أن وحدات البناء الضوئى تساعد فى سرعة الاستجابة للبناء الضوئى حتى فى ظروف الضوء الضعيف . فمثلا يمكن ملاحظة حدوث البناء الضوئى بواسطة ضؤ صادر من عود ثقاب واحد .

تجميع المواد الأولية : Assembling of the Raw Materials

يمكن الآن تصور البناء الضوئى كعملية متكاملة ابتداء من المواد الاولية حتى الناتج النهائى . فالماء ينتقل فى النباتات الارضية من خلال خلايا التوصيل فى الجذور والساق ثم الورقة واخيرا تصل الى الخلايا التى تحوى الكلوروفيل .

أما ثانى اكسيد الكربون فيأتى من الهواء المحيط حيث يوجد بنسبة (0.03٪) أو 3 أجزاء لكل10,000 جز ء من الهواء . غير أن هذه النسبة تبدو ضئيلة لاسيما اذا عرفنا أن كمية ثانى اكسيد الكروبون فى الجو تصل الى اكثر من 2000 مليار أى حوالى 19 طنا فوق كل هكتار acre من سطح الارض . وثانى اكسيد الكربون يدخل الورقة أساسا من خلال الثغور المفتوحة . ولا يرجع دخوله الى الورقة لاحتياجها له لانجاز البناء الضوئى ، ولكن بسبب نقص تركيزه داخل الورقة عما هو فى الهواء لاستخدامه فى البناء الضوئى ، لذا ينتشر الغاز من خلال الثغور التى يوجد منها ما يصل الى عشرات الآلاف فى كل بوصة مربعة من سطح الورقة النمطية ، انظر جدول (8 ـ 1) . وفى داخل الورقة ينتشر ثانى اكسيد الكربون خلال المسافات البينية وهكذا يكون على اتصال بالجدران الرطبة للخلايا التى تحد هذه المسافات انظر (شكل : 5 ـ 8) . وبما أن ثانى اكسيد الكربون يذوب فى الماء ، فانه يذوب وينتشر خلال الجدران الرطبة للخلايا أى داخل البروتوبلازم حيث يستخدم بواسطة البلاستيدات الخضراء . ومن الجهة الثانية يتحرر الاوكسجين بسبب زيادة تركيزه داخل المسافات البينية حيث ينتشر الى الخارج من خلال الثغور إلى الجو .

إن مشكلة امتصاص ثانى اوكسيد الكربون خلال الثغور المجهرية كانت قد شدت انتباه الكثرين من علماء النبات لسنوات طويلة ، حيث وجدوا أن هذه الثغور لو تم عزلها كل على انفراد لا تضح ما لتأثيرها المذهل فى عملية الانتشار ، وذلك لان جزيئات الغازات تنتشر باتجاه الثغر من مساحة واسعة حوله . ويمكن أن يصل عدد الثغور فى الاوراق من 5000 الى المليون لكل بوصة مربعة من السطح وقطر كل ثغر (عندما يكون مفتوحا للنهاية القصوى) يتراوح من 3 الى حوالى 20 ميكرون . ولتقدير فعالية الانتشار الفعلى عبر الثغور ، فإن انتشار الغازات من والى الورقة عبر بوصة مربعة واحدة من بشرتها . والتى لا تزيد مساحة الثغور فيها عن 1٪ فى حالة انفتاحها الاقصى ، يزيد نظريا عن 50 ضعفا من انتشار الغازات فى الهواء المفتوح . وعلى الرغم من أن هذا المعدل النظرى لا يتم التوصل اليه عمليا بسبب تأثير الثغور المجاورة ، الا أن المعدلات العملية تبقى كبيرة أيضا .

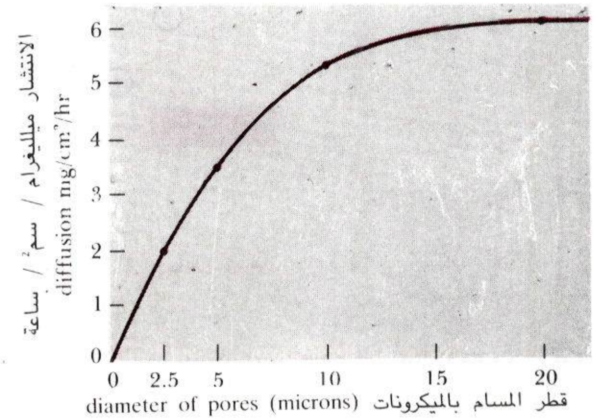
وهكذا فإن الفتحة على الرغم من كونها مغلقة تقريبا تحافظ على شدة انتشار عالية . يبين كل من الشكل (5 ـ 17) والجدول (5 ـ 1) الانتشار الفعلى خلال غشاء اصطناعى اقطار فتحاته هى 20 ، 10 ، 5 ، 5 . 2 ميكرون ، بحيث تبتعد كل منها عن الاخرى بمسافة 200 ميكرون ، توضح هذه التجربة تأثير الانغلاق التدريجى لثغور تعتبر كبيرة نوعا ما وأثر ذلك على الانتشار . لقد وجد أن تصغير الفتحة التى بقطر 20 ميكرون بنسبة 75٪ سبب انخفاض نسبة الانتشار بمقدار 8٪ فقط . وحتى الفتحة التى هى بقطر 2.5 ميكرون فإنها لازالت تحتفظ بقوة انتشارية بمقدار 36٪ بالمقارنة

جدول (5 ـ 1) انغلاق الثغور ـ معطيات الشكل رقم : 5 ـ 17

قطر الفتحات $\%\ \mu$	مساحة الفتحات $\%\ \mu^2$	انتشار الكلى %
100 20	100 400	100
50 10	25 100	92
25 5	6.25 25	61
12.5 2.5	1.56 6.25	36

بالقوة الانتشارية التى تملكها الفتحة ذات القطر 20 ميكرون . نستنتج أنه حتى فى حالة الثغور التى تعتبر مغلقة بالكامل تحتفظ مع ذلك بمقدرة انتشارية عالية .

وكما كيفت الثغور نفسها لامتصاص ثانى اوكسيد الكربون فهى لسؤ الحظ تكيفت أيضا لفقد بخار الماء من الاوراق .



شكل (5ـ17) منحنى انغلاق الثغر .

تفاعلات البناء الضوئى
Reactions of Photosynthesis

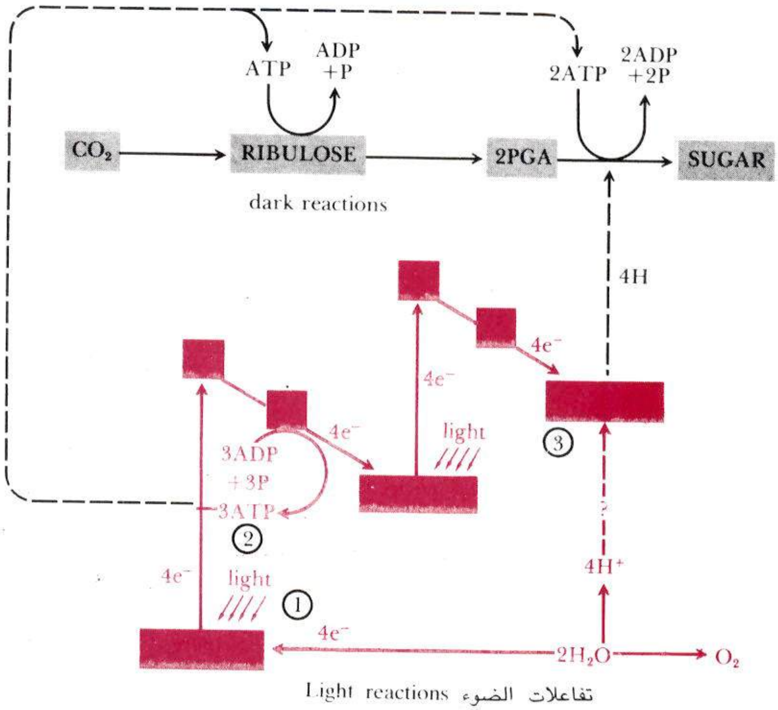
علينا أن نبين سلفا أن ما استعرضناه من معادلات البناء الضوئى . جاء مبسطاً الى حد كبير ، ولم يقصد من ورائه اكثر من تبيان طبيعة العملية بوجه عام دونما تفصيل . ففى واقع الامر تحوى عملية إنتاج السكر من ثانى اوكسيد الكربون والماء الكثير من التفاعلات والنواتج الوسطية . علما بأن اغلب ما هو معروف من هذه التفاعلات قد اكتشف منذ عام 1940 ، هذا وقد كان للحقبة التى بدأت مع بداية الستينات نصيب وفير فى تعميق هذه المفاهيم . فعلى سبيل المثال تمكن علماء الكيمياء بالاستعانة بالكربون المشع ^{14}C من تحديد موضع ذرة الكربون فى جزئى السكر انظر الشكل (5 ـ 12) كما مهدت طرق الفصل الكروموتوجرافى السبيل الى فصل واضح وقاطع لمركبات متقاربة فى تركيبها وقياس كمياتها بدقة تصل الى كسور المليغرامات . وفى مجالات اخرى للبحث العلمى ، افسحت الاساليب الجديدة والاجهزة المستحدثة المجال أمام متابعة تحقيق المزيد من التقدم . وتستخدم فى الوقت الحاضر أجهزة قياس الطيف الالكترونية بالرنين electronspin resonance spectrometers فى دراسة تأثير الضوء على الجزيئات المنفردة خلال زمن متناه القصر ، بما لا يتعدى كسرا واحد على مليار من الثانية . ولقد كشفت المجاهير الالكترونية النقاب عن تفاصيل البلاستيدات الخضراء بتكبير يقدر بآلاف المرات انظر شكل (5 ـ 13 , 5 ـ 16) رغم ان الكثرين من الباحثين قد اكتشفوا الكثير من البناء الضوئى باستخدامهم طرق حديثة فى البحث ، الا ان المجال لا يزال متسعا للكشف عن تفاصيل فيه مازال يلفها الغموض .

منذ عدة سنوات اصبح معروفا أن عملية البناء الضوئى تنقسم الى تفاعلات تحتاج الطاقة الضوئية وتستخدمها مباشرة ، وتفاعلات اخرى تجرى فى الظلام ، إلّا انها تعتمد ايضا على الطاقة الضوئية التى سبق تخزينها . ولذا سميت بتفاعلات الضوء (Light Reactions) وتفاعلات الظلام (Dark Reactions) للبناء الضوئى . تتم عمليات الضوء بسرعة كبيرة للغاية . فعلى سبيل المثال يجرى امتصاص الضوء بواسطة الكلوروفيل خلال جزء من مليون جزء من الثانية أى لحظيا بالمعنى العملى للكلمة .

وبسبب سرعة إتمام عمليات الضوء وتعذر قياسها ، بقيت معلوماتنا عنها جزئية غير مكتملة ، ولم نتمكن الّا من البرهنة على القليل من خطواتها المتوقعة . وعلى العكس من ذلك فلقد تمكن العلماء من الوصول الى أغلب دقائق تفاعلات الظلام الكيميائية الحيوية فى البناء الضوئى ، اذ تحدث هذه التفاعلات فى وقت يقاس بواحد من ألف من الثانية بدلا من واحد من المليار من الثانية ، والاهم من ذلك أن هذه التفاعلات تحوى ذرات الكربون التى يمكن تتبعها بنظيره المشع ^{14}C بينما تتعامل تفاعلات الضوء الكيميائية مع الالكترونات الدقيقة السريعة للغاية وغير المعلمة .

تفاعلات الضوء للبناء الضوئى : Light Reactions of Photosynthesis

تقسم تفاعلات الضوء للبناء الضوئى الى ثلاث مجاميع : 1 تحلل الماء الى الكترونات وايونات الهيدروجين والاوكسجين . 2 انتاج الـ ATP بمساعدة الطاقة الضوئية لعملية تدعى بالفسفرة photophosphorylation وأخيرا 3



شكل (5_18) رسم تخطيطى يوضح تفاعلات الضوء والظلام فى البناء الضوئى

(1) يمتص الضوء من قبل مراكز التفاعل لكل من صبغة الـ P680 والـ P700 . وامتصاص الضوء هذا يزيد من سرعة الكترونات الكلورفيل لدرجة ان بعضها تغادر جزىء الكلورفيل . واذا احتجزت جزيئات مستلم الالكترونات (Y) تلك الالكترونات ولو لفترة وجيزة يمكن ان تحل محلها الكترونات بديلة تأتى من جزيئات الماء المجاورة

(2) تهرب الالكترونات المحتجزة عند (Y) عن طريق الانزيم cF مكونة الـ ATP من الـ ADP وذلك خلال مرورها على الصبغة P700 .

(3) تطرد هنا طاقة الضوء كميات اكبر من الالكترونات من ثم تهرب الاخيرة الى المستلم (X) وربما تمر بعدها عبر Fd ومن ثم يستلمها الـ NADP .

تكسب هذه الالكترونات الـ NADP شحنة سالبة الذى يمتص ايونات هيدروجينية موجبة H^+ ومن ثم يكون $NADPH_2$ وبذا تتم تفاعلات الضوء .

يتحرك كل من الـ ATP ، والـ NADPH2 فى تفاعلات الظلام من وحدات البناء الضوئى والى ستروما البلاستيدات الخضراء ويتفاعلان مع الريبولوز ويتكون حامض الفوسفوجلسرين (Phosphoglyceric acid , PGA) تختزل هذه الجزيئات بواسطة NADPH2 مكونة سكرا ثلاثيا ذرات الكربون هو الفوسفو جلسرين الدهيد - 3 - phosphate glyceraldehyde

انتقال الالكترونات من جزىء الكلورفيل وأيونات الهيدروجين المحررة من الماء الى مستلم الهيدروجين Hydrogen acceptor) ، الذى هو Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate حيث يكتب فى العادة للسهولة NADP.

انقسام جزىء الماء : *Splitting the water molecule*

إن انقسام جزىء الماء (H_2O) الى الهيدروجين (H) والاوكسجين (O) هو التفاعل المميز للبناء الضوئى . وهو موضح فى (شكل : 5 ـ 18) ، المشار اليه برقم واحد فى دائرة صغيرة (1) . وإن أغلب العمليات الأخرى مزدوجة فى انظمتها ، ويمكن أن تعتبر بهذا القدر أو ذاك تفاعلات التحول الغذائى metabolic reactions . ومن المعروف أن الاوكسجين الذى يتحرر من عملية البناء الضوئى هو من الماء ، وأنه يتحرر تحت ظروف التفاعل الواقع فى دائرة الـ (p680) (شكل : 5 ـ 18) . وأن العلامة (p680) تمثل مجموعة صبغية تحوى كلوروفيل (a) (ربما تكون جزيئا واحدا فقط) بمرافقة جزيئات اخرى ، وهذا المركب يشير الى أعلى امتصاص للضوء فى المنطقة الحمراء التى طول موجاتها 680 ملليميكرون .

إن تنشيط الكترونات الكلوروفيل بفعل الضوء يستدل عليه بحدوث الفلورة fluorescence . وربما يزيد نشاط الألكترونات بفعل مصدر ضوئى قوى ووجود الوحدات الضوئية photosynthetic units بدرجة تجعل هذه الالكترونات تهرب من جزىء الكلوروفيل . وفى هذه الحالة إما أن يفقد الالكترون الهارب طاقته وسرعان ما يرجع إلى جزيئه (الحالة المعتادة) ، او يختطفه الجزىء المستلم للالكترونات والممثل بحرف yفى الشكل (5 ـ18) . ومن ثم تنتقل الالكترونات إلى جهة التفاعل من جزىء الماء المجاور . ويترتب على فقدان جزىء الماء للالكترونات أن يميل الى التحلل الى الاوكسجين (O_2) وايونات الهيدروجين (H+) ، والالكترونات تختطف من قبل الجزيئات المستلمة للالكترونات والممثلة بالحرف Y . وهكذا يتم التفاعل المشار اليه بـ (1) فى شكل (5 ـ18) .

الفسفرة الضوئية : *Photophosphorylation*

تنتقل الالكترونات ذات الطاقة العالية فى التفاعل المشار اليه برقم (2) فى الشكل (5 ـ 18) والمحجوزة فى Y ، وتنتقل إلى الأسفل باتجاه موقع البناء الضوئى ذى الشحن المنخفضة p700 . وتمر الالكترونات فى طريقها عبر انزيم (سيتوكرومf) cytochrome f (cf) حيث يستخدم قسم من الطاقة المحررة من تحويل جزىء الـ ADP الى ATP (الفسفرة الضوئية) ، وهكذا تتكون طاقة جاهزة لتفاعلات الظلام فى عملية البناء الضوئى .

أما المنطقة المشار اليها برقم (3) فى الشكل (5 ـ 18) فإن الالكترونات الحرة التى لا تزال تحوى على بعض الطاقة المكتسبة عند P680 تتسلم شحنة ثانية من الطاقة الضوئية من عند p700 ومن ثم تنتقل إلى الأعلى الى مستلم الالكترون المشار اليه بالحرف (×) . كما أن موقع (×) الذى هو اعلى من (Y) فى (الشكل 5 ـ 18) يدل على ارتفاع طاقته عن طاقة (Y) . وتنتقل الألكترونات (e) من (×) الى اسفل عبر الفرّيدوكسين ferredoxin (Fd) (ايون حديد ـ يحتوى على بروتين) ليتحد مع ايون الهيدروجين H^+ والـ NADP مكونا NADPH 2 كما هو موضح فى المعادلة التالية :

$$NADP + 2\ electrons\ (e^-) + 2H^+ \rightarrow NADPH_2 \quad (3)$$

ويتكون الـ NAPH 2 تكتمل تفاعلات الضوء . أما الطاقة الضوئية فتختزن فى الـ ATP والـ NADPH 2 لكى تستخدم بعد ذلك فى تفاعلات الظلام التى تقود إلى تكوين السكريات . وفى الحقيقة يمكن الحصول على السكر كناتج نهائى حتى فى انبوبة اختبار فى الظلام . وذلك باضافة كل من الـ ATP والـ 2NADPH وثانى اوكسيد الكربون CO_2 الى انزيمات البناء الضوئى التى يمكن فصلها من البلاستيدات الخضراء .

تفاعلات الظلام للبناء الضوئى : Dark Reactions of Photosynthesis

إن (الشكل 5 ـ 18) لا يوضح تفاعلات الضوء للبناء الضوئى ، فحسب بل إنه يبين أيضا الظلام ، وكذلك يوضح العلاقة الموجودة بينهما . فالمركبان الغنيان بالطاقة الـ ATP والـ NADPH 2 ، الناتجان عن تفاعلات الضوء ينتقلان من مواقع التفاعل التى هى اقراص الجرانا إلى الستروما المحيطة بها ، حيث يقوم الـ ATP بفسفرة السكر خماسى الكربون (رايبولوز ribulose) ، الموجود فى الستروما فيحوله الى رايبولوز ثنائى الفوسفات ribulose diphosphate . ويتضح من التفاعل المبسط التالى : أن المركب الناتج عن اتحاد جزىء ثانى اوكسيد الكربون وجزىء الماء مع جزىء الرايبولوز ثنائى الفوسفات يتحد وينقسم فى الحال مكونا جزيئين من حامض الفوسفوجلسرين phosphoglyceric

$$H_2O + CO_2 + P \overset{*}{\sim} C_5H_{10}O_5 \sim P \longrightarorigin$$

مـاء — ثـانى اوكسيـد الكربون — رايبـولوز ثنـائى الفوسفات

$$2P \sim C_3H_6O_4 \quad (4)$$

حـامض الفوسفـوجلسرين

وبعدها يتحـول حامض الفـوسفوجلسرين الى سكـر ثلاثى الكـربـون الـذى هـو الـدهيـد ـ فـوسفـو جلسريـن phosphoglyceraldehyde . وهنـا يشـارك المـزيـد من الـ ATP النـاتج من التفـاعل الضـوئى ، كمـا أن الهيـدروجيـن المحمول بواسطة الـ NADPH والناتج عن التفاعـل الضـوئى يستخدم فى اختزال حامض الفوسفوجلسرين وذلك بازاحة ذرة واحدة من الاوكسجين .

$$2NADPH_2 + 2P \sim C_3H_6O_4 \sim P \longrightarrow$$

جـزىء المختـزل — حامض الجلسرين ثنائى الفوسفات

$$(5) \quad 2P \sim C_3H_6O_3 + H_2O + 2NADP$$

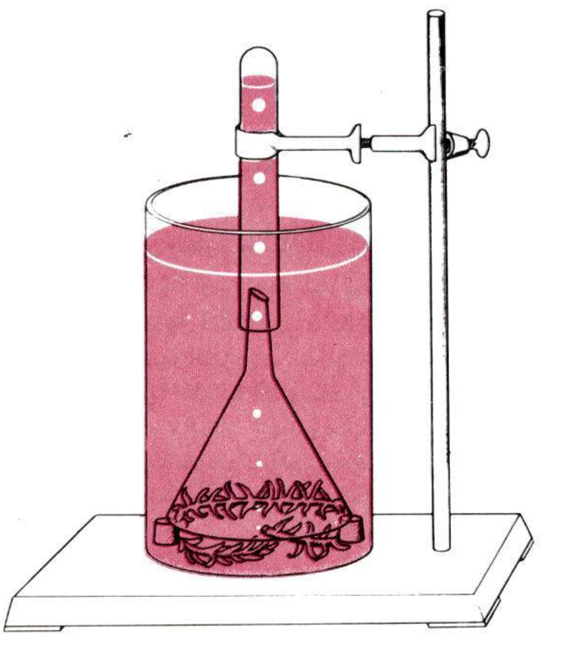
الدهيد ـ فوسفوجلسرين — مـاء — الجزىء المتـأكسد

كما ويمكن أن يتحد جـزيئان من السكـر الثلاثى الكـربون وهو الدهيد الجلسرين لتكوين الفركتوز أو الجلوكوز (شكـل : 5ـ12) . والخـلاصة ان جـزيئا واحـدا من السكـر سـداسى الكربون يتكون من اتحاد جزىء من ثانى اكسيد الكربـون مع سكر خماسى . ومن الـواضح ان إعـادة تكوين السكـر خماسى الكربون (الرايبولوز) هى أساس إستمرار البناء الضـوئى . ومع ذلك فهـذه العملية من العمليـات المعقدة والطـويلة والتى لا يتسع المجال لمناقشتها هنا .

قيـاس البنـاء الضـوئـى Measurements of Photosynthesis

إن معادلة البناء الضوئى تشير الى أن معدل العمليـة يمكن قياسه إما بواسطـة ما يستخـدم من ثانى اوكسيـد الكربـون والماء وبمعدل ما يستخدم من الطاقة ، أو بواسطة قياس معدل ما ينتج من الاوكسجين والماء أو السكر . وقد استعملت جميـع هـذه الطـرق ولكن نسبـة التغـيرات التى تحـدث لكميـة المـاء والطاقة جعلت قياسها صعبا جدا .

ويمكن توضيح التغيرات فى معدل البناء الضوئى بـواسطة نبات مائى كـالالولاديـا Elodea (شكل : 5 ـ 19) . فعنـد قطع بعض الفروع الهوائية فى النبـات وغمرهـا فى الماء بـوجود ضـوء قوى يـلاحظ تصاعـد فقاعـات هوائيـة من النهـايـات المقطوعة ، ولو جمعت هذه الفقاعات كما هو موضح فى الشكل ، وأسقطت قطعة من الخشب المتوهج فى أنبوبة الاختبار الحاوى على الفقاعات ، لتحولت الشرارة إلى لهب وهذا اشارة الى زيادة تركيز الاوكسجين وقد اظهر اختبار الغـاز أن الفقاعـات ماهى إلّا اوكسجين تصاعد أثناء البنـاء الضوئى واختلط مـع الهواء المذاب فى الماء . إن المعدل الذى تتصاعد بـه الفقاعـات إشارة تقـريبية الى معـرفة معـدل حدوث البنـاء الضـوئى . إن هـذه الطـريقة معـرضة للخطـأ بسبب التفاوت فى حجم الفقـاعـات



شكل (5ـ19) تحرر الاوكسجين اثناء البناء الضوئى . تتصاعد فقاعات من الهواء الغنى بالاوكسجين من النباتات الخضراء تحت اشعة الشمس .

* يقصد بالرمز ~ قبل أو بعد الحرف أن الفوسفور حاوى لطاقة عالية .

ومكوناتها أو بسبب ذوبان جزء من الاوكسجين المتحرر فى الماء بدون تكوين فقاعات . ويمكن أن تستخدم طريقة الفقاعات هذه للبرهنة على أن معدل حدوث البناء الضوئى يتغير حسب شدة الضوء . ويمكن أيضا استخدامه لتبيان ضرورة وجود ثانى اوكسيد الكربون فى البناء الضوئى ، حيث لاتتكون فقاعات فى الماء الذى سبق غليه لطرد الغازات المذابة فيه ثم أدخل فيه هواء خال من ثانى اوكسيد الكربون .

اغلب البحوث الأساسية التى أجريت للتعرف على آلية البناء الضوئى ، كانت قد اجريت على الطحالب algae فى دوارق زجاجية خاصة يمكن بواسطتها قياس حجم الاوكسجين المتحرر الى أقرب واحد من عشرة آلاف جزء من المليمتر . وتتطلب هذه القياسات القيام بمعالجة وسائل ميكانيكية متطورة وغالبا ما تكون غالية الثمن . وتجرى تجارب مفيدة لقياس البناء الضوئى فى النباتات الراقية ، على ورقة لا تزال متصلة بالنبات أو على نبات كامل يغطى بناقوس زجاجي أو فى غرفة من اللدائن الشفافة تعرّض للضوء . ويعاير حجم الهواء الداخل إلى الغرفة أو الناقوس والخارج منهما . والفرق بين القياسين هو المقدار الممتص من ثانى اوكسيد الكربون . ومقدار امتصاص ثانى اوكسيد الكربون هذا يعرف بالبناء الضوئى الظاهرى أو الصافى . ويمكن تصحيح هذا الرقم عن طريق معرفة مقدار ثانى اوكسيد الكربون الناتج عن تنفس النبات (شكل : 6 ـ 2) ، لتتم معرفة المقدار النهائى للبناء الضوئى . كما يمكن التحكم فى درجة الحرارة وشدة الضوء وتركيز ثانى اوكسيد الكربون ومختلف العوامل النباتية الاخرى وذلك لتحديد أثر كل منها على معدل البناء الضوئى . ويقصد بالغرف المستخدمة فى مثل هذه التجارب اى حيز مغلق ابتداء من البيوت الزجاجية التى تغطى شجرة تفاح مثلا ، وانتهاء بكيس من اللدائن الشفافة يغطى ورقة واحدة من نبات ما .

إن البحوث فى مجال قياس معدل البناء الضوئى لفترات قصيرة من الوقت تساهم فى معرفة تأثير البناء الضوئى على نبات معين أو محصول معين . ومن المهم أيضا أنه بقياس المادة الجافة الناتجة خلال فصل نمو نجد انها حوالى 94٪ من وزن النباتات الجافة وهى مشتقة من نواتج البناء الضوئى . وعن طريق حصاد وتجفيف النباتات على فترات اسبوعية يمكن تكوين تصور عن الناتج الكلى للبناء الضوئى . وتوضح هذه الطريقة ان حقلا من نبات الذرة انتج مائة بوشل من الحبوب للهكتار الواحد (البوشل = 3.52 متر مكعب) قد اكتسب 72 كيلوغراما من المواد الجافة للهكتار الواحد يوميا فى المعدل ابتداء من اليوم الذى بلغ فيه طول النبات أكثر من 60 سم وحتى اليوم الذى تم فيه تكوين الحبوب تقريبا .

والمعدلات القصوى للبناء الضوئى فى نبات الذرة وقصب السكر (شكل : 5 ـ 1) تبلغ حوالى 400 رطل من المادة الجافة للهكتار فى اليوم ، هذا على الرغم من أنه تم التوصل إلى ما يزيد عن 270 كيلوغراما من المواد الجافة للهكتار الواحد فى اليوم تحت ظروف خاصة .

العوامل التى تؤثر على البناء الضوئى : Factors Affecting Photosynthesis

إن السرعة التى تنجزبها عملية البناء الضوئى تتأثر بعدد من العوامل الخارجية والداخلية . ومن بين العوامل الخارجية التى يمكن أن تحدد من سرعة العملية ، شدة الضوء وتركيز ثانى اوكسيد الكربون ودرجة الحرارة وكمية الماء .

شدة الضوء : *Light intensity*

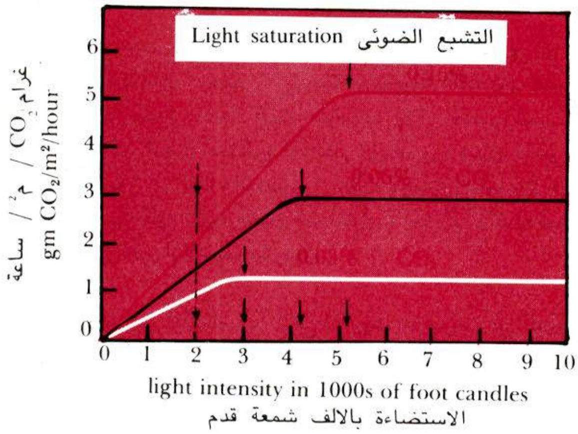
من بين جميع العوامل المحددة لعملية البناء الضوئى نالت دراسة شدة الضوء الاهتمام الاول . فشدة الضوء فى يوم صيف مشمس تقدر بحوالى 10,000 وحدة ضوئية (شمعة ـ قدم)، والوحدة الضوئية هى عبارة عن الضوء المنبعث من شمعة قياسية على بعد 1 قدم . واحسن ضوء للقراءة هو شدة 20 او 30 وحدة ضوئية .

على العموم فان معدل البناء الضوئى فى اوراق النباتات التى تنمو فى المناطق المشمسة يتناسب تقريبا مع شدة الضوء المستلمة من قبل الاوراق بما لايتعدى الثلث او النصف من شدة ضوء الشمس فى منتصف النهار . وتسمى شدة الضوء التى عندها تتوقف سرعة البناء الضوئى عن الزيادة بفعل زيادة كمية الضوء بدرجة التشبع الضوئى Light Saturation Point . وعند هذه الدرجة التى تتغير حسب نوع النبات وتغير الظروف فان معدل البناء الضوئى يجب الا يتأثر بالتغيرات التى تحدث فى شدة الضوء خلال اليوم عن طريق السحاب مثلا ، ما لم تقل شدة الضوء الى تحت درجة التشبع .

فالتغير فى درجة التشبع الضوئى بالنسبة للبطاطس الايرلندية Irish Potatoes مع تغير تركيزات ثانى اوكسيد الكربون يمكن ملاحظته فى شكل (5ـ20). حيث نرى حدوث التشبع الضوئى عند 3000 (شمعة ـ قدم) عندما يكون

تركيز ثانى اوكسيد الكربون عاديا اى 0.03٪ اما عندما يزاد تركيز ثانى اوكسيد الكربون فى الهواء المحيط بالاوراق الى الضعف ثم الى خمس مرات يحدث التشبع الضوئى عند 4200 و 5200 شمعة ـ قدم على التوالى . اى كلما ازداد تركيز ثانى اوكسيد الكربون فى الهواء كلما ازداد استخدام الاوراق للضوء . يلاحظ ايضا عند 2000 شمعة ـ قدم (الخط المنقط فى الشكل). عندما كان الضوء هو العامل المحدد لسرعة البناء الضوئى لجميع تراكيز ثانى اوكسيد الكربون فان ثانى اوكسيد الكربون المضاف سبب زيادة فى سرعة البناء الضوئى الى اكثر من الضعف . ومن المتعارف عليه خطأ ان سرعة العملية عندما تكون مشروطة بواسطة عدد من العوامل المنفردة تتحدد عن طريق ابطاء العوامل . وبتعبير آخر هناك عاملا محددا وحيدا يعتبر الاكثر تأثيرا على سرعة العملية ، والذى يمكن توقع زيادة معدل العملية بزيادته ، وفى مثالنا هنا يعتبر الضوء هو العامل المحدد . وهذا المفهوم يدعى بقانون العوامل المحددة Law of Limiting Factors وتوضح البيانات فى شكل (5ـ20) حقيقة هذه العلاقة . فعندما يكون الضوء هو العامل المحدد (2000 شمعة ـ قدم) كانت الزيادة فى تركيز ثانى اوكسيد الكربون تحقق زيادة فى معدل البناء الضوئى . ولكن لثانى اوكسيد الكربون تأثير اكبر عندما لا يكون الضوء هو العامل المحدد (اكثر من 5000 شمعة ـ قدم) وفى بعض العمليات يمكن لاكثر من عامل واحد ان يكون محددا فى نفس الوقت . بيد ان هناك العامل الاكثر تحديدا الذى بزيادته تحدث اكثر استجابة فى الناتج العام ، غير ان العوامل الاخرى تستطيع ان تؤثر على معدل العملية ككل . والعوامل المحددة لا تؤثر على انفراد ولكن تتفاعل فيما بينها .

التشبع الضوئى هو حالة شائعة لجميع الاوراق المعرضة كلية لضوء الشمس الكامل . اما النباتات النامية فى ظل النباتات الاخرى او بالنسبة للاوراق السفلية للنباتات المظلمة بما فوقها من اوراق فان الضوء غالبا ما يكون هو العامل المحدد . فالنقص فى شدة الضوء والذى لايؤثر على الاوراق العليا يمكن ان يكون عاملا جديا محددا بالنسبة للاوراق السفلية وهذا بدوره يقلل من سرعة البناء الضوئى للنبات باكمله . ونتيجة لذلك فان اى تقليل من شدة الضوء يؤثر بالتقليل من معدل البناء الضوئى للاشجار او النباتات



شكل (5ـ20) تأثير شدة الاستضاءة ونسبة تركيز ثانى اوكسيد الكربون فى الهواء على البناء الضوئى فى نبات البطاطس الايرلندية Irish potato (Solanum tuberosum) . زاد معدل البناء الضوئى مع زيادة شدة الضوء حتى الوصول الى التشبع الضوئى (مشار اليه بسهم) كما زاد معدل البناء الضوئى ايضا بزيادة تركيز ثانى اوكسيد الكربون حتى عندما كانت شدة الاستضاءة ادنى من حدة التشبع (مشار الى ذلك بخط متقطع)

النامية بشكل كثيف ومتقارب فى الغابات والحقول .

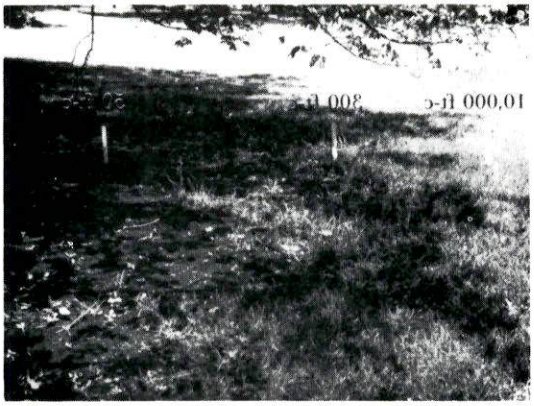
فالضوء تحت نبات القيقب Maple الصغير فى نموه ، يمكن ان يقل عن 1٪ من شدة الضوء فى مكان مكشوف ، بما يصل الى 100 شمعة ـ قدم وبينما تعتبر شدة الضوء هذه كافية لنمو نباتات الظل كالحزازيات Mosses مثلا الا انها لا تكفى لنمو النجيليات (شكل : 5ـ21).

ويقدر علماء الغابات انه بالمستطاع الحصول على باذرات نباتية قادرة على الحياة فى الظل وذلك اذا كانت شدة الضوء بين 5ـ10٪ من الضوء الكلى . اما فى حالة هبوط هذه النسبة الى اقل من 2٪ فان اغلب النموات الموجودة على ارض الغابة تكون مؤلفة من السرخسيات Ferns والحزازيات Mosses وادغال الظل وشجيرات صغيرة Shrubs . فى حين ان تكاثر اصناف اشجار الغابات لا يكون الا فى حالة موت الجزء العلوى لبعض الاشجار القديمة او قطعها او تكسرها حيث سيتسبب فى نفاذ الضوء الى منطقة النمو فى الغابة . وتتميز الحزازيات والسرخسيات ونباتات اخرى غيرها التى تنمو فى الظل الكثيف بقلة معدل نموها وتنفسها ، ولهذا فانها

تستهلك غذاءها ببطء . كما يمكنها ايضا ان تعيش حتى فى حالة الضوء الضعيف (شكل : 5ـ21) وذلك بسبب تركيز ثانى اوكسيد الكربون المرتفع الناتج عن تنفس الكائنات الحية الدقيقة Microorganisms فى عملها على تفسخ بقايا النباتات من اوراق واغصان . هناك العديد من نباتات البيوت القادرة على احتمال الظل ، تتمكن من النمو فى ظروف شدة الضوء المنخفضة . اما على ضوء النهار أو الضوء الصناعى اذ تستفيد ايضا من ثانى اوكسيد الكربون الاضافى نتيجة لتنفس الانسان . وحتى هده النباتات يكون نموها احسن لو انها تحصلت على مقادير جيدة من الضوء ولو على فترات متقطعة .

ليست اقتصادية اطلاقا زيادة كمية الضوء فى الحقل ، بل من الاوفق زيادة الانتفاع باشعة الشمس عن طريق الاكثار من عدد اوراق النبات وزيادة مساحتها للهكتار الواحد . فالزراعة المكثفة عند ريها وتسميدها ينتج عنها زيادة فى المردود الكلى بسبب اساسى هو ازدياد المساحة الكلية للاوراق ، وهذا يؤثر على اجمالى امتصاص ضوء الشمس وثانى اوكسيد الكربون . ومن الضرورى مع ذلك الحفاظ على توازن هذه العوامل . فالزراعة الكثيفة حتى بزيادة التسميد يمكن ان تفشل فى اعطاء محصول عال اذا لم يقابلها زيادة فى كمية الماء بسبب زيادة سطح الاوراق الناتج عن التسميد .

فعند السعى وراء مردود اعلى من بذور الذرة مثلا نرى التأثير الكبير والجدى فى حالة الزراعة المتقاربة . فالاوراق العليا التى تنمو افقيا لنباتات الذرة المزروعة بشكل متقارب تظلل الاوراق السفلية وبذلك تقلل من كمية الضوء التى تستلمها هذه الاوراق الى اقل ما يمكن . وقد طورت اصناف من الذرة الجديدة تنتصب اوراقها رأسيا كما فى شكل (5ـ22) وفى مثل هذه الاصناف تسمح الاوراق القائمة بمرور ضوء الشمس الى الاوراق التى تحتها وبذلك يزداد مجموع المساحة الكلية التى تقوم بالبناء الضوئى بالنسبة الى النباتات المزروعة بشكل كثيف . هذا وان ازدياد السطح المعرض لامتصاص الضوء الى الضعف او ثلاث مرات يساعد النبات على اتمام عملية البناء الضوئى بمعدل اعلى وبذلك ينعكس على زيادة فى الغلة . وقد طورت اصناف جديدة من الذرة البيضاء Sorghum وعدد آخر من نباتات الحبوب ، كى تحمل اوراقا رئيسية .



شكل (5ـ21) احباط نمو عشبة الكلأ المرجية blue grass (Poa pratensis) فى الظل الشديد . يبين الشكل شدة الاستضاءة بشمعة قدم foot candle فى المواضع المختلفة من الحقل . لم يستطع النبات العيش تحت شدة استضاءة اقل من 300 شمعة قدم .

ثانى اوكسيد الكربون : *Carbon dioxide*

عندما يتوفر الضوء والماء والعوامل الاخرى بشكل مثالى فان تركيز ثانى اوكسيد الكربون عادة يصبح هو العامل المحدد لسرعة عملية البناء الضوئى ، لكل من نباتات الادغال او نباتات المحاصيل على حد سواء . ومن الممكن جدا انه عندما يراد زيادة البناء الضوئى يزاد من تركيز ثانى اوكسيد الكربون فى الهواء المحيط بالاوراق (شكل : 5ـ20). فمن خلال تجارب قصيرة زيدت فيها نسبة تركيز هذا الغاز الى 13 مرة عن تركيزه الاعتيادى فى الهواء ، تم التوصل الى رفع معدل البناء الضوى الى اربعة او خمسة اضعاف لكل من نباتات البطاطس والبنجر السكرى والبرسيم الحجازى . وفى عدد قليل من التجارب التى تم فيها حصول النباتات على جرعات مركزة من ثانى اوكسيد الكربون لفترات طويلة كانت النتائج مغايرة . ونحن بحاجة الى ابحاث اكثر لتحديد التأثير الممكن حدوثه فى حالة الابقاء على مستوى عال لتركيز هذا الغاز وحقيقة الامر انه تحت الظروف الحقلية المتوسطة فان التزود بثانى اوكسيد الكربون افضل من التزود بالماء والسماد . فكميات الماء والسماد الملائمة تضاعف بصورة عامة المحصول او حتى تزيده الى ثلاث مرات بالمقارنة بالمعدل حتى فى حالة عدم تغيير نسبة تركيز ثانى اوكسيد الكربون .



شكل (5ـ22) نبات الذرة مهجن للحصول على اوراق اكثر انتصابا ومتانة (يسار الصورة) مقارنا بنبات عادى (يمين الصورة) . تتيح الاوراق المنتصبة للنبات حصول اوراقه الدنيا على قدر اكبر من اشعة الشمس لسهولة تغلغلها وبذا يرتفع معدل البناء الضوئى بينما تتسبب الاوراق غير المنتصبة فى تظليل اوراق النبات الادنى منها (تحصل الاخيرة على مقدار اقل من الضوء).

اما فى البيوت الزجاجية Greenhouses حيث يمكن ان يصل تركيز ثانى اوكسيد الكربون الى اقل من 0,01٪ فان زيادة نسبة تركيزه تؤدى الى زيادة فى سرعة البناء الضوئى . وبالاستطاعة عمل ذلك عن طريق وضع اسطوانة من غاز ثانى اوكسيد الكربون المضغوط ثم تركه يتسرب من الاسطوانة ببطء ، ويمكن ذلك ايضا وبتكلفة اقل عن طريق حرق غاز الميثان (CH_4) فى البيت الزجاجى لتزويده بكل من ثانى اوكسيد الكربون والحرارة معا . كما يمكن ايضا استعمال غاز البروبين Propane Gas ($CH_3CH_2CH_3$) اما الغازات الناتجة عن حرق الفحم فتتضمن الاثلين Ethylene ومواد اخرى سامة للنباتات لذلك لا يمكن استخدامها مع الاسف .

درجة الحرارة : *Temperature*

تزداد سرعة التفاعلات الانزيمية مثلها مثل العمليات الكيميائية الاخرى عن المعدل ، عند رفع درجة الحرارة ابتداء من درجات الحرارة القريبة من التجمد وحتى الى اكثر من 40°م (104 ف°) ومن المفروض ان رفع درجة الحرارة فى هذا النطاق سوف يزيد قطعا من سرعة البناء الضوئى . والتجارب المختبرية تثبت تضاعف سرعة البناء الضوئى عادة عند رفع درجة الحرارة بمقدار 10°م (18°ف) فى حالة توفر ثانى اوكسيد الكربون بتراكيز عالية . وهناك عدد من النباتات الواقعة فى ظل الظروف الحقلية لا تتأثر فيها عملية البناء الضوئى بدرجات الحرارة ابدا او ان تأثيرها يكون

طفيفا . ويحتمل ان يكون تفسير هذا الاختلاف هو ان تركيز ثانى اوكسيد الكربون يقل فى الظروف الحقلية بحوالى 100 مرة عما هو عليه فى الظروف المختبرية ، وهكذا فان سرعة البناء الضوئى فى الظروف الطبيعية حيث تتحكم فيها العمليات الانزيمية تكون محدودة .

الامداد بالماء : *Water supply*

يقل معدل البناء الضوئى فى الاوراق الذابلة حتى يصل احيانا الى الصفر وهذه القلة ترجع اولا الى النقص فى كمية ثانى اوكسيد الكربون الممتصة نتيجة لانغلاق الثغور بسبب الذبول . وكمية الماء التى تستخدم فى البناء الضوئى كمصدر للهيدروجين هى فقط حوالى 0,1٪ من الماء الذى يمتصه النبات ، ولذلك فمن غير المحتمل ان يكون الماء عاملا محددا مباشرا لعملية البناء الضوئى . وعلى العكس من ذلك فربما ينخفض مجمل عملية البناء الضوئى بشكل خطير بفعل تأثيرات غير مباشرة مثل انغلاق الثغور ، وصغر مساحة الورقة لضعف نمو النبات ، بل ومن المحتمل ان يكون لتعويض الانزيمات عن اداء وظيفتها بسبب قلة المحتوى المائى للبروتوبلازم دخل فى ذلك ايضا .

البناء الضوئى فى بعض النباتات الاستوائية الاصل : Photosynthesis in Some Plants Of Tropical Origin

تمكنت ابحاث النبات ابتداء من سنة 1960 من اثبات ان صافى معدل البناء الضوئى لبعض النباتات الزهرية الاستوائية الاصل هو فى الغالب مرتان او اكثر مما هو عليه فى النباتات الاخرى . وغالبا ما تكون هذه النباتات من النجيليات ويضمنها الذرة وقصب السكر والذرة البيضاء وعدد من نجيليات الاعلاف كنجيل برمودا الساحلى ـ النجم ـ Coastal bermuda grass (Cynodon) ونجيل الباهيا Bahia grass (Paspalum) ونجيل الكراب crab grass (Digitaria) . ولقد ثبت ان هذه النجيليات الاستوائية تحوى ثانى اوكسيد الكربون مع مستلم ـ ثلاثى الكربون 3 – carbon acceptor لتكوين حامض عضوى رباعى الكربون كحامض اوكسالواسيتيك oxaloacetic . وهذا بدوره يعيد تثبيت ثانى اوكسيد الكربون فى الضوء باتحاده مع الرايبولوز ثنائى الفوسفات مكونا جزيئين من حامض الفوسفوجلسرين (معادلة ـ 4) . والاحماض من نوع الاوكزلواسيتيك المتكونة من هذه النجيليات تتحول من ثم الى سكريات بسيطة ، وربما عن طريق حامض الفوسفوجلسرين على الاغلب . ويحتمل ان آلية البناء الضوئى الموجودة فى النجيليات الاستوائية مسئولة فى الغالب عن المعدل العالى للبناء الضوئى ، وبناء على ذلك فهى مسئولة ايضا عن الكفاءة الاعلى فى استعمال ثانى اوكسيد الكربون . وعلى كل حال فإن نشاط عملية البناء الضوئى الكبير لهذه النباتات الاستوائية يمكن ان يرجع اساسا الى غياب الدقائق الصغيرة التى تدعى بـ Peroxisomes والموجودة فى سيتوبلازم خلايا الاوراق . وهذه الدقائق هى مواقع لشكل من التنفس الضائع . وظهور هذه الدقائق فى نباتات اخرى يدل على تبديد قسم ملحوظ من نواتج البناء الضوئى ، ولهذا فإن لها معدل بناء ضوئى منخفض بالمقارنة بالنجيليات الاستوائية . والعامل المساعد ايضا الممكن هو ان خلايا الورقة التى تقوم بعملية البناء الضوئى بمعدل مرتفع هى خلايا غمد الحزمة bundle sheath (شكل : 5ـ10) ، لان هذا يسمح لحركة نشطة وسريعة لنواتج البناء الضوئى الى خارج الورقة . اما عندما يزيد معدل انتاج السكر عن معدل انتقاله من الورقة فإن الزائد منه يتحول الى نشاء يتجمع فى خلايا غمد الحزمة .

وبرامج تربية النباتات التى يتم بواسطتها اختيار الاصناف الجيدة عن طريق اختبار مدى فعاليتها للاتحاد بالكربون ثم باختبار اصناف تتمتع بأقل معدل للتنفس الضائع فى الضوء ، يمكن ان تقود الى مضاعفة البناء الضوئى للعديد من نباتات المحاصيل ، لتساعد بدورها على سد حاجات البشر من الطعام .

البناء الضوئى والغذاء والسكان : Photosynthesis, Food, and Population

ان مجموع البشر الذين يمكنهم البقاء على هذا الكوكب يعتمد بصورة مباشرة على الطاقة الانتاجية للبناء الضوئى ـ المصدر الغذائى الوحيد للكائنات الحية . ومن اجل مواجهة الانفجار السكانى فى العالم ، فهل نستطيع ان نتطلع دائما

الى زيادة مقدرة النباتات الخضراء على انتاج الغذاء الكافى لسد احتياجات سكان العالم الغذائية ؟ ثم هل نستطيع ان نحقق زيادة مطردة فى مردودات نباتاتنا المزروعة لاجل الغذاء ؟

صحيح ان نواتج محاصيلنا الرئيسية قد حققت زيادة خلال المائة سنة الماضية وهذه الزيادة سوف تستمر على اقل تقدير بالنسبة لعدد من المحاصيل . والسبب فى ذلك يرجع الى تطوير وتحسين الاصناف التى تدر ناتجا اعلى وتتمتع بمقاومة افضل للامراض فى الوقت نفسه . وكأمثلة على ذلك نذكر الاصناف الجديدة للقمح والرز ذات الغلة العالية والتى تزرع الآن بشكل واسع فى الاقطار الاسيوية كما هو وارد فى الفصل الاول . كما ان تحسين الغلة يرجع ايضا الى استخدام التهجين فى الذرة مثلا والاصناف الجديدة لفول الصويا وعدد من المحاصيل الاخرى . كما يمكن زيادة المحتوى البروتينى لنباتات المحاصيل بالاضافة الى احداث تحوير فى شكل وهيئة النباتات لتمكينها من الانتفاع الاكثر كفاءة بأشعة الشمس . كما وان فعالية عملية البناء الضوئى قابلة للتحسين ايضا .

ويمكن ايضا زيادة الغلة عن طريق العديد من ممارسات الاعمال الزراعية كالزيادة فى استخدام الاسمدة ثم مشاريع الرى الجديدة وكذلك الطرق الجديدة فى تهيئة التربة . ورغما عن كل ماسبق ذكره ، ورغما عن العـــديد من الانجازات الاخرى والامكانات المسخرة لرفع الناتج الغذائى فإن لمردودات نباتات العالم الغذائية حدودا لاتتعداها ، علما بأن الانفجار السكانى يعتبر غير محدود . ولا غرابة فى ان ما يقرب من ثلاثة ارباع سكان العالم يعانون الآن من درجات جوع متفاوتة . فلو استمر ازدياد السكان بالمعدل الموجود حاليا حتى نهاية هذا القرن فإنه يتحتم مضاعفة تجهيز العالم بالغذاء بثلاث مرات او حتى اربع اكثر مما هو موجود الآن من اجل توفير غذاء كاف وملائم للبشرية . وبصورة عامة فإنه من غير الممكن احداث مثل هذه الزيادة ، وبالتأكيد فإن جميع الجهود المبذولة لزيادة تجهيز الغذاء ستكون غير ذات جدوى مالم يصاحبها تنظيم التضخم السكانى وقهره . ولكن مع ذلك فإن الجهود المبذولة لزيادة كمية الغذاء يجب ان تستمر . ومن الطبيعى ادراك انه من الواجب التحكم دائما بتعداد السكان بحيث يستطيع كل انسان سد حاجته من الغذاء .

اغذية النبات : Plant Foods

كما ذكر سابقا فى هذا الفصل فان سكر الفركتوز البسيط يعتبر الناتج النمطى المباشر للبناء الضوئى . وتحويل الكربوهيدرات من صورة الى اخرى يجرى بسرعة كبيرة داخل النبات ، بحيث لايصبح تحديد اى الانواع انتج فى البداية ذا اهمية سواء اكانت الفركتوز او الجلوكوز او اى سكر آخر .

والسكر المصنوع فى الخلية الخضراء يتعرض الى تحولات عديدة . فبعضه يستفاد منه فى عملية التنفس التى تحدث فى الورقة او اى جزء آخر من النبات . كما ان الطاقة المتحررة من السكر نتيجة للتنفس تقوم بانجاز عمليات النبات . والسكر الذى لايستخدم مباشرة اما ان يتحول الى كربوهيدرات اخرى او ان يستخدم فى تكوين الدهنيات او البروتينات او مركبات اخرى . وهذه المركبات تنتج من السكر عن طريق تفاعلات لايكون اشتراك الضوء ضروريا فيها . اما الطاقة الضرورية لهذه التفاعلات فيتم الحصول عليها من الطاقة الكيميائية للـ ATP ، الذى يتكون بدوره بواسطة اكسدة بعض السكريات (الفصل ـ 6)

الكربوهيدرات : Carbohydrates

يعتبر السكروز والنشاء والسيلولوز من بين الكربوهيدرات المهمة ، التى تتكون فى النبات من السكريات البسيطة . ولا يمثل السيلولوز غذاء للنباتات الراقية ولكنه يعتبر مادة لبناء هيكل النبات . اما الكربوهيدرات الاخرى فتعتبر من الغذاء المخزون . ففى العديد من النباتات كالبنجر السكرى وقصب السكر والبصل تخزن الكربوهيدرات على شكل سكروز ويعتبر فى اغلب الانواع هو المخزون الرئيسى .

يتكون السكر فى الورقة خلال ساعات النهار بسرعة اكبر من سرعة استهلاكه او انتقاله الى انسجة اخرى . اما السكر الزائد فيتحول من ثم الى نشاء يظهر كمخزون مؤقت للبلاستيدات الخضراء لخلايا الميزوفيل . وهذا النشاء يتحول فيما بعد الى سكر ذائب ينتقل من الورقة الى اجزاء اخرى .

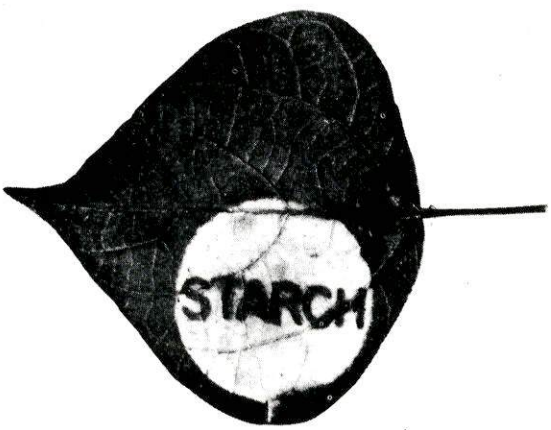
ومن المحتمل ان انتقال السكر من الورقة خلال النهار اسرع مما هو عليه فى الليل ، الا ان سرعة المنتقل منه خلال النهار تكون اكثر من معدل انتاجه فى البناء الضوئى .

وبسبب التحولات السريعة للسكر الى نشاء فى العديد من النباتات فإن اختبار وجود النشاء فى الورقة يدل دلالة واضحة على حدوث البناء الضوئى . كما ان تجمع النشاء فى الورقة كمخزون مؤقت يمكن الكشف عنه او التحقق منه بسهولة . فلو تم استخلاص الصبغة الخضراء بواسطة الكحول او الاسيتون من ورقة نبات ينتج النشاء ، كان قد تم وضعها فى الظلام لعدة ساعات ، ثم صبغت باليود فإن الورقة تصطبغ بنفس صبغة اليود . ولكن فى حالة ما اذا كانت الورقة معرضة للضوء ليوم ثم عوملت باليود بنفس الطريقة السابقة فإنها ستصطبغ باللون الازرق او الاسود اشارة الى وجود النشاء (شكل : 5ـ23) . ويشار الى هذا النشاء فى بعض الاحيان على اساس انه اول ناتج مرئى للبناء الضوئى ، ولكن فى الحقيقة ان النشاء هو تفاعل مختلف وان السكر هو الناتج الحقيقى . والنشاء يمكن ان يتكون من السكر فى الانسجة الخازنة غير المعرضة للضوء . وفى الظروف التجريبية فإن النشاء يمكن ايضا ان ينتج فى اقسام الورقة التى لاتكونه فى العادة وذلك عن طريق تزويدها اصطناعيا بتركيز مرتفع من السكر .

البروتينات : Proteins

تستخدم بعض من السكريات التى ينتجها النبات لتكوين مركبات البروتين الضرورية للحياة والنمو . وكما قد تم توضيحه سابقا (الفصل ـ4) فان البروتينات تتألف من مركبات ابسط تعرف بالاحماض الامينية تترابط لتكوين جزيئـات البروتين الكبيرة والمعقدة .

وتتجمع البروتينات فى النباتات كبروتينات بروتوبلازمية Protoplasmic Proteins او كبروتينات مخزونة . فالبذور ، خاصة البقوليات غنية بالبروتين ، وكما هو الحال ايضا بالنسبة للكرومات والابصال والريزومات والبراعم والجذور



شكل (5ـ23) اختبار الكشف عن النشاء فى وريقة نبات البازلاء بعد تعريضها لضوء الشمس . قطعت احرف كلمة starch على قرص معتم ولصقت على ورقة النبات فى الصباح الباكروفى المساء نزع القرص واستخلص الكلورفيل بواسطة الكحول . عولجت الوريقة باليود ومن ثم صورت فوتوغرافيا .

الخازنة والنباتات ، تستخـدم البروتينـات فى تكوين البروتوبلازم الجديد ، ولذلك يحتاج النبات الى هذه المركبات بكميات كبيرة خلال نموه . ففى البذور المنبتة يتحول البروتين المخزون فيها الى اشكال قابلة للذوبان لتنتقل الى البادرات النامية . اما فى النمو الربيعى للنباتات الخشبية فيتوفر فائض البروتين من خلايا الخشب الحية وخاصة خلايا الفلين الحية .

ويظهر بجلاء ان انتاج الاحماض الامينية Amino Acids من الكربوهيدرات والنيتروجين يمكن ان يحدث فى جهات عديدة من النبات ، وخاصة فى بعض الاوراق وفى انسجة الجذر . ومتى تكونت الاحماض الامينية فإنه يمكن ان يجرى بناء البروتينات فى الحال او ان تنتقل هذه الاحماض الى انسجة اخرى ، وهناك تتحول الى البروتينات حيث يستفاد منها او تخزن .

وتحتاج الحيوانات فى تغذيتها الى الاحماض الامينية مثلها فى ذلك مثل النباتات . وفى حين ان جميع الاحماض الامينية متساوية من حيث اهميتها لبناء البروتين فإن تجارب التغذية اظهرت ان الاحماض الامينية التى تستخدمها الحيوانات يمكن تصنيفها الى مجموعتين،اساسية Essential وغير اساسية Nonessential . ويقصد هنا بالاحماض الامينية الاساسية تلك الاحماض التى لاتكونها الحيوانات من مواد غذائية تتناولها، ولكن عليها ان تتزود بها جاهزة فى غذائها حيث انها مشتقة اساسا من بروتينات النبات. اما الاحماض الامينية غير الاساسية فتحتاج اليها الحيوانات ايضا ولكنها تستطيع ان تكونها عن طريق تحويل حامض امينى الى حامض امينى اخر. ولذلك تحتاج الحيوانات الى مجموعة ملائمة من الاحماض الامينية تتضمن قسط لازما من كل الاحماض الاساسية.

لقد اظهرت التجارب ان عشرة من الاحماض الامينية اساسية للكلب والفأر وثمانية للانسان البالغ * وان اغلب الاطعمة البروتينية كالبيض واللحم والحليب تحتوى على جميع هذه الاحماض الامينية الاساسية، وتصنف على اساس انها بروتينات مرتفعة النوعية، اما الانواع العديدة من الاغذية النباتية كالبطاطس والحمص والفاصوليا والذرة والقمح والرز فتفتقر على اقل تقدير الى احد الاحماض الامينية الاساسية. كما ان اغلب محاصيل الغلة (كالقمح والارز مثلا) تفتقر الى اللايزين lysine والتريونين threonine وتفتقر الذرة الى اللايزين والتربتوفان tryptophan. وعن طريق الجمع بين مختلف الاغذية النباتية يمكن الحصول على توازن مناسب من الاحماض الامينية. ويمكن الحصول على مثل هذا التوازن بسهولة كبيرة عن طريق استهلاك البروتينات الحيوانية الى جانب البروتينات النباتية. ولما كانت البروتينات الحيوانية مرتفعة الثمن الى حد ما، فان اغذية البشر تتألف الآن بشكل رئيسى من الحبوب ـ اذ تساهم الحبوب فى تقديم اكثر من 40 مليون طن من البروتينات سنويا كغذاء للانسان وبالنظر الى الازدياد المضطرد لسكان الارض فان استهلاكهم سيزداد حتما من هذه الحبوب، ومن بين المناهج التى تستخدم الآن لزيادة القيمة البيولوجية للحبوب التهجين. اذ عن طريق هذا المنهج يمكن زيادة محتوى الحبوب من الاحماض الامينية الضرورية، وبهذا الخصوص احرز التقدم بخطوات كبيرة نتيجة للاكتشافات التى حصلت فى بداية 1960 عن طريق احداث تغير اثنين من جينات الذرة (2 ـ opaque 2 ـ floury)، حيث امكن مضاعفة تركيز اللايزين فى هذه الحبوب وتحوى الصبغة الحالية لغذاء الطفل التى تستخدم فى الاقطار النامية على الذرة الغنية باللايزين والذى يعتبر المادة الرئيسية التى تعطى لهذه الحبوب اهمية كبيرة. اما المنهج الثانى المستخدم فهو سلوك طريق تقوية انتاج المحصول باضافة الاحماض الامينية الاساسية المنتجة اصطناعيا او بالتخمير. ومن الملائم اقتصاديا تزويد الخبز والاغذية المصنوعة من الحبوب بالاحماض الامينية الاساسية بالاضافة الى تزويدها بالفيتامينات والحديد كما هو معمول به فى الوقت الحاضر، ويعتقد ان اضافة كميات من اللايزين لايتعدى ثمنها سنتين او ثلاثة (6 ـ 9 دراهم) الى رغيف الخبز يجعل بروتينات هذا النوع من الغذاء مساوية فى الكمية لما هو موجود فى الحليب والتعليق على هذا التقدم العلمى هو ان عليقة الطيور الداجنة كالدجاج تزود بكميات زائدة من الاحماض الامينية الاساسية ومواد مغذية اخرى.

ان بروتينات الورقة هى فى العادة افضل نوعيا من بروتينات البذور وان العديد من الحيوانات المجترة كالبقرة والخروف والغزال لاتتغذى على الاوراق فحسب بل انها تحصل على الاحماض الامينية الاساسية من نواتج البكتريا الموجودة فى معدتها، وهى بهذا تكون اكثر تحررا من ناحية احتياجها الى احماض امينية خاصة اساسية لغذائها.

الدهنيات: Lipids

ان الـــدهنيات او المواد الدهنية واسعة الانتشار فى انسجة النباتات على شكل قطرات موجودة فى كل ناحية من السيتوبلازم، وتتضمن الدهنيات ـ الدهون fats التى توجد فى حالة صلبة عند درجة حرارة الغرفة، والزيوت oils وهى

* الأحماض الأمينية الاساسية للبالغين من الناس هى اللايزين lysineوالتربتوفان tryptophanوالثريونين threonineوالمثيونين methionineوالفنيل الانين phenylalanineوالليوزين leucineوالفالين valineوالايزولوزين isoleucine . كما ان الاطفال بحاجة ايضا إلى الهستدين histidine

منّ الموائع تحت هذه الدرجة. وتوجد الدهنيات فى الحيوانات بصورة رئيسية على شكل دهون وفى النباتات على شكل زيوت، هذا مع وجود بعض الشواذ لكليهما كالدهن الموجود فى الكاكاو cacao bean ثم زيت السمك والفقمة seal والزيوت بصورة عامة يمكن ان تتحول الى دهون عن طريق اتحادها بـالهيـدروجـين. وهـذه العمليـة تـدعى بـالهـدرجـة hydrogenation، حيث تستخدم فى انتاج المرجرين ودهون الطبخ من الزيوت النباتية، كما ان بعض الدهنيات وبصورة رئيسية الموجودة فى الحيوانات وبعض الدهنيات النباتية ايضا تكون مشبعة بالهيدروجين فى حالتها الطبيعية، ويعتقد بعض علماء الفسولوجيا ان استهلاك الدهنيات يقود الى زيادة نسبة انتاج الكولسترول cholesterol فى مجرى الدم فيما يتسبب عنه كثير من الامراض الشائعة.

وتحتوى الزيوت النباتية على نفس العناصر الكيميائية للسكر، ولكن نسبة ذرات الاوكسجين الى ذرات الكربون اقل فيها بكثير مما هى عليه فى السكر وتعتبر الزيوت المصدر الرئيسى للطاقة، وتخزن فى اغلب الاحيان فى ثمار الفاكهة والبذور وهى شائعة فى البذور بكثرة، ومن بين البذور الغنية بالزيت بذور الخروع castor bean والبندق البرازيلى Brazil nut وبذور القطن والفول السودانى peanut والذرة والتمور وجوز الهند coconut وجوزة الطيب nutmeg وفى بذور عباد الشمس والسمسم sesame والعصفر (او القرطم)safflower والتانغ tung وفول الصويا اما ثمار الفاكهة الغنية بالزيوت فمنها الافوكادو avocado (نبات امريكى استوائى ثماره شبيهة بالاجاص)، والزيتون حيث تصل نسبة الزيت فيه الى 50٪ من وزنه الجاف، وتحتوى الكثير من البذور على الزيت بشكل منفرد كغذاء احتياطى، والبعض الاخر يمكن ان يكون مرافقا للنشاء، اما فى الحيوانات فالدهون هى الشكل الطبيعى ، حيث تتجمع على شكل غذاء احتياطى مخزون، ولتوضيح مدى اعتمادها على النباتات فان الحيوانات ـ بما فى ذلك الحيوانات التى تحتوى معدتها على بكتريا مرتبطة فى بناء الاحماض الامينية ـ لها القدرة على صنع العديد من المواد الدهنية من الكربوهيدرات ان اغلب بذور العائلة النجيلية (كالقمح والشعير والذرة والارز) ذات محتوى منخفض من الدهنيات حيث تتراوح نسبتها من 2 ـ 5 ٪ وعندما تتغذى الحيوانات الحقلية على مثل هذه البذور فانها تجمع فى جسمها مقدارا كبير من الدهون لغنـاها بـالمواد الـدهنية التى تكـونت من الكربوهيدرات . وعلى كل حال فان الحيوانات تعتمد فى غذائها على الحصول على بعض الكميات الصغيرة الاساسية من الاحماض الدهنية غير المشبعة، والتى تشتق من زيوت النباتات.

تجمع الغذاء: Food Accumulation احد النشاطات المميزة للنبات هو تجمع المواد الغذائية الاحتياطية فى مختلف اجزائه، وتتجمع مثل هذه المواد فى النباتات الحولية فى البذور اساسا، اما النباتات المعمرة فان الغذاء الاحتياطى يختزن فى سيقانها الخشبية وفى الجذور والكورمات والريزومات والدرنات والابصال . وهذا الغذاء الاحتياطى يمكن النبات من استئناف نموه فى الربيع التالى.

واحتياطى الغذاء فى الابصال الزهرية، كالنرجس narcissus او الياقوتية او كما تسمى بالحلحل hyacinth يكفى لتكوين الازهار والاوراق، اما تعويض الغذاء الاحتياطى هذا فى الابصال فلا يحدث عادة الا بعد فترة الازهار، يحث تواصل الاوراق هذه الوظيفة حتى موتها . مثال اخر على اهمية الاجزاء الخضراء فى مجال تخزين المواد الغذائية ماهو موجود فى الهليون asparagus النامى والمحصود. حيث تنمو الاجزاء الخضراء الناشئة فى الربيع، على الغذاء المتجمع فى الجذور خلال فترة نمو سابقة لذلك يراعى عند حصد الهليون ان يأتى الحصاد بعد 6 او 8 اسابيع وذلك كى تتمكن الفروع التى نمت بعد فترة من السبات من تجميع الغذاء للسنة القادمة بواسطة البناء الضوئى.

ان الاستمرار فى قطع الاجزاء الهوائية للنبات النامى المعمر لايمنع عملية تجميع الغذاء فحسب وانما ايضا يضعف تدريجيا الاجزاء الموجودة منه فى التربة لتعرضها الى التجويع الغذائى. كما وان قطع الماشية للاجزاء العليا للنبات اثناء الرعى يتسبب فى موت النجيليات المرغوبة فى الحقل فى نهاية المطاف لتحل محلها نباتات غير مرغوبة (شكل : 15 ـ 9) ويمكن التخلص من الاعشاب البرية بنفس الطريقة السابقة وذلك بقطع الاجزاء العلوية منها عدة مرات خلال موسم النمو مما يتسبب فى اضعاف الاجزاء الموجودة فى التربة بسبب النقص فى الغذاء المخزون، وبهذه الطريقة

يسهل اجتثاثها والتخلص منها، ونظرا لتوفر كميات كبيرة من الغذاء فى بعض هذه الاعشاب يتطلب اجتثاثها بالطريقة المبينة الاستمرار فى اتباعها لاكثر من فصل نمو واحد.

بعض العلاقات الغذائية: Some Nutritional Relationships

يمكن تقسيم النباتات من حيث مصدرها الغذائى الى مجموعتين كبيرتين، فالمجموعة الاولى هى النباتات الخضراء او ماتسمى بذاتية التغذية autotrophic حيث تصنع جميع غذائها بنفسها، وتتضمن هذه المجموعة بصورة عامة الطحالب algae والكبديات liverworts والحزازياتmosses والسرخسيات ferns والمخروطيات conifers والنباتات الزهرية. وتشمل المجموعة الثانية النباتات التى يتحتم عليها الحصول على غذائها او على جزء منه على الاقل من مصادر خارجية. مثل هذه النباتات تدعى بالنباتات غير ذاتية التغذية heterotrophic وتمثل هذه المجموعة من النباتات بشكل رئيسى البكتريا والفطريات. وهى تشمل كل من النباتات الرمية (التى تعيش على المواد المتفسخة) saprophytes وكذلك النباتات المتطفلة parasites مع انواع عديدة شائعة ومنتشرة بشكل واسع، فالاولى تحصل على غذائها من المواد غير الحية كانسجة النباتات والحيوانات المتحللة، اما المتطفلة فتحصل على غذائها مباشرة من كائنات حية اخرى.

ومع ان المتطفلة هى الكائنات الدقيقة الاكثر شيوعا فان انواعا عديدة من النباتات الزهرية تقدر ب 2500 او اكثر فى هذه المجموعة ايضا، هذا وتختلف درجة التطفل كثيرا فلقسم منها كبعض انواع الدبق mistletoes والجذور المتطفلة تفرعات تقوم بالبناء الضوئى ولذلك فمن المعتقد ان النبات الطفيلى لايحصل الا على كمية من الماء والاملاح من النبات العائل (المضيف)، ويصطلح على مثل هذه النباتات بالمتطفلة جزئيا او شبه المتطفلة partial or hemiparasites . وهناك فى الجانب الآخر بعض النباتات كنباتات عائلة الجعقيل broomrape family، التى تفتقد الكلوروفيل لذا تعتمد بشكل كامل على النبات العائل فى الحصول على الماء والاملاح والمركبات العضوية.

ويعتبر نبــات العرر (Striga asiatica، الــذى عرف منذ القــدم فى افريقــيا وآســيا واسترالــيا. ثم اســتقدم حديثا الى الولايات المتحدة ويعتبر من أمثلة الجذور المتطفلة . والجزء الهوائى من هذا النبات الحولى يتراوح طوله بين 6 ـ 12 بوصه (15 ـ 30 سم) ولونه أخضر ناصع) أما أوراقه فصغيرة وضيقة ، وتميل أزهاره إلى اللون الاحمر (شكل : 5 ـ 24) . ويعطى النبات بذورا عديدة ضئيلة الحجم ولا تنبت إلّا اذا وضعت بجانب جذر عائل وبعد فترة الاستنبات ينمو الطرف الجذرى حتى يتلامس مع جذر عائل ويأخذ فى الانتفاخ . وتنمو من هذا الانتفاخ نموات تخترق الانسجة الموصلة فى الجذار العائل ، ومن ثم يبدأ الجذر الاصلى بالتفرع . كما وأن جذور النبات المتطفل الثانوية تهاجم الجذر العائل بدورها ولا يظهر النبات فوق سطح التربة لمدة تقرب الشهر ابتداء من الاستنبات ، ولا يتعدى النبات تلك الفترة كونه نباتا طفيليا بالكامل . وعندما تظهر اجزاء النبات الهوائية يتحول النبات الى شبه طفيلى . فعلى الرغم من ان تلك الأجزاء الهوائية مزودة بالمادة الخضراء (الكلوروفيل) ، غير ان النبات لايزال معتمدا على النبات العائل فى التزود بالماء والاملاح . ويهاجم هذا النبات عددا من نباتات الزراعة بما فى ذلك نبات الذرة البيضاء وقصب السكر . وربما تؤدى مهاجمة النبات الطفيلى للنبات العائل الى ان يموت الاخير أو يتوقف عن النمو على الاقل وذلك لتخريب النبات الطفيلى لجذور العائل .

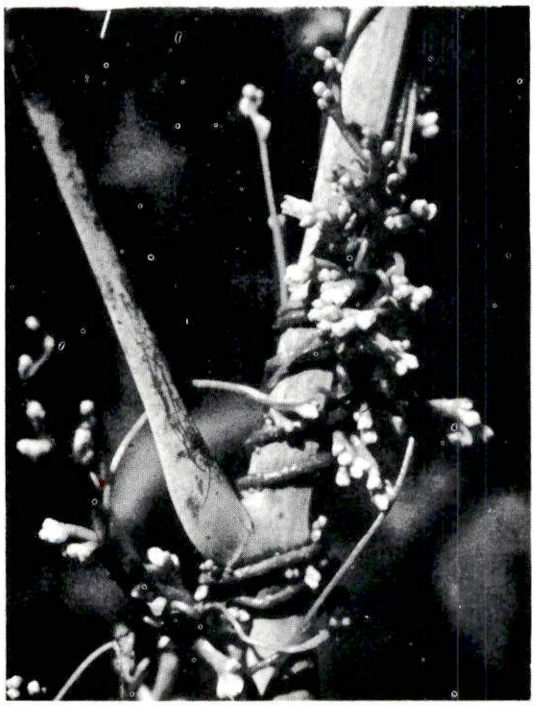
ويعتبر نبات الحامول Dodder (شكل : 5 ـ 25) من النباتات الأكثر تخصصا فى تطفلها ، وهو نبات ضعيف القوام يلتف حول غيره متسلقا يميل الى الصفرة وبلا اوراق وينمو هذا النبات على العديد من النباتات البرية والمزروعة على حد سواء ، ويتخصص فى افساد زراعات البرسيم الحجازى alfalfa والنفل clover ، ويتحصل على ما يلزمه من ماء وغذاء واملاح من خلال ممصات haustoria ، تخترق انسجة النبات العائل (شكل : 5 ـ 26) . وتعتبر ممصات نبات الحامول جذورا عرضية متحورة . ولا يعتبر هذا النبات متطفلاً بالكامل ، وذلك أنه يحوى على بعض من الكلوروفيل فى بادراته وبراعمه وثماره ، بل وحتى فى ساقه ، الّا ان ما ينتجه النبات بنفسه من غذاء يعتبر ضئيلا بالمقارنة بما يستهلكه منه . وربما يفسر وجود الكلوروفيل فى نبات الحامول وغيره من بعض النباتات المتطفلة كدليل على أن اسلاف تلك النبات كانت تحتوى على كميات طبيعية من الكلوروفيل بما سمح لها ان تكون ذاتية التغذية .

وتوجد بين النباتات العشبية الزهرية غير ذاتية التغذية بعض الأصناف غير الخضراء من السحلبيات وهى اعضاء عائلتى (الخلنج heath والجينطيانات gentian) وغيرها ، والتى تدعى عموما بالنباتات المترممة : saprophytes وتنمو هذه النباتات فى العادة فى التربة الدبالية (humus) ، حيث تغطى جذورها فطريات بشكل خيوط العنكبوت تخترق الجذور



شكل (5ـ24) نبات العرر witchweed (Striga asiatica) وهو شبه متطفل . نلاحظ التصاق جذور النبات بجذور نبات الذرة المضيف (العائل) .

شكل (5ـ25) نبات الحامول Dodder (Cuscuta gronovii) يلتف بساق نبات Jewelweed (Impatiens)

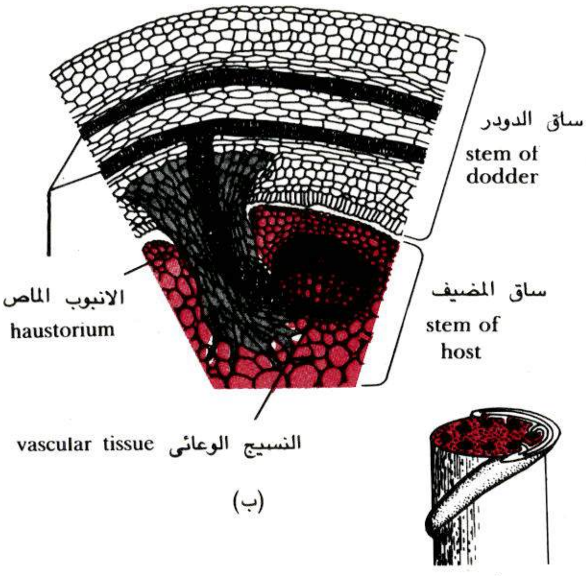


وتمتد الى التربة انظر فطر الجذر mycorrhizae (فصل ـ 9) وعن طريق الفطريات يتحصل النبات المزهر على ما يلزمه من مركبات الكربون والماء والاملاح من التربة . لذا لا يعتبر مصطلح المترممة مناسبا للنبات المزهر حيث لا يقوم النبات بنفسه بتحليل المواد العضوية غير الحية مثلما يفعل ذلك كل من الفطريات والبكتريا المترممة . وفى حالتنا هذه تعتبر الفطريات هى المترممة أما العلاقة الرابطة بين النبات الراقى والنبات الفطرى فربما تقصر على كونها علاقة تكافلية mutualistic او حتى طفيلية parasitic وعادة ما يسمى نبات الغليون الهندى (Monotropa uniflora) Indian pipe (شكل 5 ـ 27) بنبات مترمم . غير أن ابحاثا فى السويد اجريت على أحد أصناف هذا الجنس ، وهو نبات المونوتروبا Pinesap (Monotropahypopitys) ، قد أظهرت أن جذور النبات الاخير ، وكذلك نبات التنوب الفضى spruce أو أشجار الصنوبر قد تداخلت وتشابكت بشدة حتى أن خيوط جذور نبات pinesap الفطرى قد التحمت مع تفرعات جذور أشجار الغابة واخذ النبات المترمم فى الحصول

شكل (5ـ26) نبات الحامول dodder (Cuscuta)

(أ) لفه من النبات على نبات النفل الاحمر red clover (Trifolium pratense) وتوضح الصورة الانبوب الماص ملتصقا بالانسجة الوعائية للمضيف .

(ب) قطاع فى ساق المضيف والنبات الطفيلى (بتكبير عال) .



على كل ما يلزمه من غذاء سوءاء العضوى أم غير العضوى من الاشجار العائلة من خلال تلك الخيوط ومن هنا يتضح أن نبات pinesap ما هو الآ نبات متطفل وليس مترمما .



شكل (5ـ27)

الغليون الهندى Indian pipe (Monotropa uniflora)
طول النبات يبلغ 175مم .

الخلاصة : Summary

(1) إن إنتاج الغذاء بواسطة النباتات الخضراء من مواد لا عضوية هو عملية تعتمد عليها الحياة ، وتسمى هذه العملية بالبناء الضوئى ، وهى بالتحديد انتاج السكر فى وجود الكلوروفيل والضوء وبالاستعانة بثانى اوكسيد الكربون والماء كمادتين خام ، ويطلق الاكسجين من جزيئات الماء كناتج عرضى (ثانوى) .

(2) يحدث البناء الضوئى فى البلاستيدات الخضراء الموجودة فى النسيج الوسطى (الميزوفيل) للورقة وانسجة الورقة هى : البشرة والنسيج الوسطى والحزم الوعائية . يتألف النسيج الوسطى من خلايا برنشيمية ، ويقسم فى العادة الى خلايا عمادية وخلايا اسفنجية برنشيمية وتتركب الحزم الوعائية من الخشب واللحاء ، ومن مجموعها تكون الانسجة الوعائية او الموصلة . وكثير ما تلازم ألياف التقوية السكلرنشيمية الحزم الوعائية . تحوى خلايا البشرة فتحات تسمى بالثغور ويحيط كل منهما بخلايا حارسة . والثغور هى المرات الرئيسية لحركة الغازات من والى الورقة .

(3) يمكن من الاساس الانتفاع بمختلف اطوال موجات الطيف المرئى فى عملية البناء الضوئى . وتظهر الاوراق باللون الاخضر لكونها تعكس جزءا من موجات الضوء الاخضر اكبر الى حد ما من اللونين الاحمر والازرق . ولا يكون الفرق فى الضوء المعكوس كبيرا رغما عن ذلك كما وتكتسب أطوال موجات الضوء الاخضر أهمية غير ضئيلة فى عمليات البناء الضوئى .

(4) تتحول الطاقة الاشعاعية فى البناء الضوئى الى كيمائية ، وأن طاقة الضوء تمتص من تفاعلات الضوء وتستخدم فى عملية تحليل الماء الى هيدروجين واكسجين مكونة بذلك جزيئات الـ ATP والـ MADPH2 . بينما يتحد ثانى اوكسيد الكربون والماء مع السكر خماسى الكربون (رايبولوز) ، وذلك فى تفاعلات الظلام ، مما ينتج عنه تحلل جزىء السكر سداسى الكربون الى جزيئين من حامض الجلسرين ثلاثى الكربون . ومن ثم يستخدم الهيدروجين المشتق من الماء من خلال جزئى الـ NADPH2 الحامل للهيدروجين فى عملية اختزال حامض الجلسرين مما ينتج عنه تكوين ثلاثى الكربون (فوسفو جلسرين الدهايد ـ PGA) . وبعد ذلك يتحد جزيئان من الـ PGA ويكونان السكر سداسى الكربون ـ الفركتوز أو الجلوكوز .

(5) يمكن قياس معدل البناء الضوئى بكمية الناتج المتكون أو بكمية المواد الداخلة فى التفاعل خلال فترة زمنية محددة ، ويتأثر هذا المعدل بعوامل مثل : توفر الماء وشدة الضوء ونسبة تركيز ثانى اوكسيد الكربون . ويمكن لاى من هذه العوامل أن يكون هو العامل المحدد . وربما تكون درجة الحرارة عاملا محددا للبناء الضوئى أيضا وذلك فى التجارب المختبرية والتى يستخدم فيها تركيز عال لثانى اوكسيد الكربون ، بينما لا تكتسب درجة الحرارة أهمية كبرى فى ظل الظروف الطبيعية .

(6) يستخدم السكر الذى تنتجه النباتات الخضراء بطرق عديدة .إذ يستهلك بعضه فى التنفس ، بينما يحول البعض الآخر الى أشكال أخرى من الكاربوهيدرات أو الدهنيات كما يستخدم بعض هذا السكر فى انتاج الاحماض الامينية وهى لبنات بناء البروتينات . وبعض الاحماض الامينية الضرورية لتغذية الانسان والحيوانات الاخرى ، تتركب بواسطة النباتات وحدها ومنها البكتريا . وبوجه عام تعتمد الحيوانات على النباتات ليس فقط فى مدها بالكربوهيدرات ولكن ايضا فى مدها بالاحماض الامينية الضرورية وكميات قليلة من بعض الاحماض الدهنية المعينة .

(7) يتراكم الغذاء الفائض فى البذور والجذور . أما الغذاء الفائض المخزون فى الجذوع والجذور فيمكن النباتات المعمرة من استئناف نموها بعد فترة السبات . ويعوض الغذاء المستخدم فى مرحلة النمو المبكرة هذه بكميات اخرى من الغذاء المنتج فيما بعد اثناء فصل النمو . ويحدث أحيانا ان تفتقر الاجزاء الباطنية (الموجودة تحت سطح التربة) للنباتات المعمرة إلى الغذاء تدريجيا وذلك بسبب تكرار استئصال اوراقها . يشكل الغذاء الفائض المصدر الرئيسى لغذاء الانسان وغيره من الحيوانات .

(8) يمكن تصنيف النباتات ، انطلاقا من طرائق حصولها على الغذاء الى نباتات ذاتية التغذية واخرى تحصل على غذائها جاهزاً . كل النباتات الخضراء ذاتية التغذية اما النباتات غير الخضراء فتحصل على غذائها جاهزا (وتكون إما رمية أو متطفلة) . ولا تقتصر النباتات التى تحصل على غذائها جاهزا على البكتريا والفطريات وحدها ، ولكن ايضا تضم العديد من انواع النباتات الزهرية .

التنفس والهضم

Respiration and Digestion


6

التنفس والهضم
Respiration and Digestion

ان مئات بل ربما آلاف التفاعلات الكيميائية المختلفة تحدث بصورة منتظمة فى كل خلية حية نشطة ويمثل مجموع هذه التفاعلات الكيميائية ما يسمى بالتحول الغذائى Metabolism . كما ان بعض النشاطات ، كالبناء الضوئى والتمثيل assimilation وتخليق المركبات المعقدة من المواد الغذائية تؤدى الى تكوين مركبات جديدة . وتكتسب تفاعلات اخرى صفة الهدم اى التحلل ، ومن اهمها الهضم والتنفس ، وعن طريق هذه التفاعلات تتجزأ مواد الغذاء المعقدة الى مركبات ابسط . إن مصطلح البناء Anabolism يستخدم للتعبير عن عمليات بناء المواد الغذائية اما الهدم Catabolism فيتمثل فى عمليات تجزئة المواد او المركبات . والتفاعلات من الصنفين المذكورين هى تفاعلات مترابطة ومترادفة تحدث فى الخلية الحية الواحدة وفى آن واحد وكلاهما ضرورى لبقاء ونمو الخلية .

التنفس : Respiration

تستخدم خلايا النبات والحيوان على حد سواء الطاقة فى بناء البروتوبلازم والمحافظة عليه وعلى الاغشية البروتوبلازمية وجدران الخلايا . وتحصل على هذه الطاقة فى اكسدة المركبات العضوية بنفس المبدأ المستخدم فى محرك السيارة او المرجل البخارى . فحرق الخشب يستدعى اولا رفع درجة حرارته الى درجة عالية بمعدل 870°م (1600°ف) فعند هذه الدرجة من الحرارة تنشط الجزيئات الى درجة انها تتحد تلقائيا مع اوكسجين الهواء وتتحرر الطاقة على شكل حرارة ويشابه احتراق السكر فى الخلية الحية عملية احتراق الخشب او الفحم . غير ان الاكسدة التلقائية فى ظروف درجات الحرارة العالية غير ممكنة فى الخلية الحية . ولذلك تجرى التفاعلات فى الخلية الحية ببطء ، ويمكن ان تحدث عند درجة غير ممكنة وتكون على مراحل متعددة بحكم تأثير مجموعة من الانزيمات . ويدعى هذا الاحتراق المسيطر عليه داخل الخلية بالتنفس. وبجانب السرعة البطيئة يختلف التنفس عن الاحتراق فى الهواء بان غالبية الطاقة المتحررة من السكر اثناء التنفس تتحول الى طاقة على صورة ATP ، حيث يمكن استخدامها من قبل الخلية بدلا من تبديدها كحرارة .

ويتحول السكر كسكر الجلوكوز مثلا فى عملية التنفس الى مواد ابسط مع تحرر بعض الطاقة حيث يمكن تمثيل ذلك

بالمعادلة التالية :

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow$$

سكر   اوكسجين

$$6CO_2 + 6H_2O + \text{energy (38 ATP)} \quad (1)$$

ثانى اكسيد الكربون   ماء   طاقة

يتضح من خلال ملاحظة المعادلة ان هذا التفاعل يعتبر عكس التفاعل الجارى فى البناء الضوئى ، وذلك من وجوه عديدة . فعملية التنفس تقوم بتحويل بعض الطاقة التى تم تخزينها فى البناء الضوئى الى شكل يمكن ان يستفيد منه البروتوبلازم .

استخدام الطاقة : The Use of Energy

من الواضح ان الطاقة ، اى القدرة على اداء شغل، تستخدم فى رفع وزن ما او انجاز أى شغل ميكانيكى آخر . وليس واضحا تماما استخدام الطاقة لاداء شغل داخل الخلية بما يسمح للنبات او الحيوان ان يعيش وينمو . فالطاقة المتحررة اثناء التنفس يظهر ان قسما منها تبدد على شكل حرارة ، لا يستفيد منها النبات فى حين ان القسم الآخر يختزن فى الـATP للاستفادة منه فيما بعد . وتعتبر الطاقة المختزنة هى المهمة عند قيام الخلية بنشاطاتها الحية .

ان كمية الطاقة التنفسية الصغيرة تنعكس على حركة البروتوبلازم الانسيابية وعلى حركة الكروموسومات وفى ظواهر ثانوية اخرى . وان اغلب الطاقة تصرف على عملية التمثيل وهى التى عن طريقها يتحول الغذاء الى مواد داخلة فى تركيب جدران الخلايا والبروتوبلازم . والطاقة ضرورية فى التفاعلات الكيميائية حيث عن طريقها يتم بناء البروتينات والدهنيات من نواتج البناء الضوئى . ويمكن استخدام الطاقة ايضا فى المحافظة على تركيب البروتوبلازم وفى امتصاص الاملاح وتجمعها داخل الخلايا وكذلك فى انتقال المواد الغذائية خلال النبات .

بالاضافة الى ذلك تستخدم طاقة التنفس فى بناءالعديد من المواد المختلفة فى النباتات ، وذلك ان لبعض هذه المواد اهمية حيوية كبيرة للنبات ، اما البعض الآخر فغير معروفة اهميته بعد . وتشمل هذه المواد الاصباغ والفيتامينات والزيوت الاساسية والاصماغ والراتنجات Resins والاحماض العضوية وكذلك التنانينات (المواد الدباغية) والجلوكسيدات Glucosides كالدايجيتالين Digitalin والقلويات Alkaloids كالكافيين Coffeine والنيكوتين nicotine والستركتين Strychnine .

ويتبلور النشاط فى داخل الخلية الذى يستخدم طاقة التنفس فى نمو النبات ، حيث تتكون الاوراق والازهار والبذور والثمار ، هذا علاوة على ازدياد ابعاد النبات طولا وقطرا ، كما يلاحظ إمتداد الجذور داخل التربة . واستفادة النباتات من الطاقة لا تتم بنفس الطريقة التى تحدث فى أغلب الحيوانات ، نتيجة لحركتها الظاهرة ، وتلك هى احدى المميزات المهمة التى يتميز بها الحيوان عن النبات . غير ان هناك تشابها جوهريا يتجلى فى ان النبات والحيوان يحتاجان للطاقة على حد سواء لانجاز العمليات الحيوية ضمن خلاياهما . هذا مع العلم ان استخدام الطاقة فى انجاز العمليات الخلوية يتخذ جوهرا واحدا عموما فى كل الاحياء .

مظاهر عملية التنفس : Evidences of Respiration

يرافق التنفس عادة كثير من الظواهر تشير الى طبيعة ومعدل هذه العملية . هذا وان تحول الطاقة هو احد اهم مظاهر عملية التنفس ، يمكن ملاحظة بعض المظاهر بصورة مباشرة .

ارتفاع درجة الحرارة : *Rise in temperature*

ان كثيرا من طاقة التنفس يمكن ان يتحرر على شكل حرارة . وهذه الحرارة مهمة بالنسبة للحيوانات ذوات الدم الحار وذلك لانها تحافظ على درجة حرارة الجسم . اما فى النباتات فهى عادة طاقة ضائعة لانها تتسرب بسرعة الى الهواء المحيط ، ولذلك فان درجة حرارة النبات تكون مقاربة لدرجة حرارة الهواء المحيط . ومن هذه الناحية فان النباتات تشبه الحيوانات ذات الدم البارد حيث لا تملك الآلية الفسيولوجية للمحافظة على درجة حرارة الجسم ثابتة . وبالنسبة للانسجة والاعضاء ذات النمو النشط كالبذور

المستنبتة والثمار الصغيرة والبراعم المتفتحة فان معدل العمليات التبادلية مرتفع ، ثم ان معدل تنفسها اعلى مما هو فى نظيراتها الناضجة . واذا ما تحررت الحرارة فى مثل هذه الانسجة فانها تحتجز مسببة ارتفاع درجة حرارتها .

ويمكن ملاحظة ارتفاع درجة الحرارة هذه بواسطة وضع عدد من بذور الشوفان المنقوعة سابقا فى الماء فى دورق مفرغ ومثبت به مقياس للحرارة يمر خلال فتحة من سدادة معمولة من القطن . فعندما يبدأ الانبات فان ارتفاع درجة الحرارة يمكن ان يتراوح بين 10 او 20 °م (18 او 36 °ف) ويعتمد هذا على نوع البذور المستعملة . كما ان البكتريا تؤثر فى رفع درجة الحرارة اكثر من ذلك . وفى حالة ما اذا اغلق الدورق بالسدادة لمنع الاوكسجين من الدخول فان درجة الحرارة سوف تنخفض حالما يستنفد جميع الاوكسجين الموجودة فى الدورق .

ويمكن ايضا ملاحظة ارتفاع درجة الحرارة داخل المجموع الخضرى للنبات اذا كان هذا المجموع متشابكا وكثيفا ، حيث يعمل كعازل يعزل المناطق الداخلية عن المحيط الخارجى . فقد ترتفع مثلا درجة الحرارة داخل قفص مغطى بنباتات خضراء مثل نباتات الكرفس والبقوليات الخضراء الى 6°م (11°ف) اعلى من الهواء الخارجى . كما ويمكن ان ترتفع درجة حرارة بذور عشب الكلئية blue grass seed المحصود حديثا والمربوط فى حزم لتجفيفها الى درجة حرارة اعلى من تلك التى تموت عندها البذور حوالى 50°م (122°ف) وذلك خلال ساعات .

استهلاك الاوكسجين وتحرر ثانى اوكسيد الكربون : *Use of oxygen and release of carbon dioxide*

ان المعدل الذى يتحرر به ثانى اوكسيد الكربون والمعدل الذى يستخدم به الاوكسجين بواسطة النسيج الحى للنبات يؤخذان كعلامة لمعدل التنفس . ثم ان استخدام الاوكسجين من الناحية النوعية يمكن تبيانه بواسطة دورق يملأ قسم منه ببذور الحمص المستنبتة او اى بذور مستنبتة اخرى ويغلق الدورق بسدادة لليلة واحدة . فلو ادخل فى داخل الدورق عود من الثقاب المشتعل فان الشعلة سوف تنطفىء ، اشارة الى ان الاوكسجين قد استنفذ بواسطة تنفس البذور .

وللتأكد من تحرر ثانى اوكسيد الكربون كناتج للعملية يمكن الاستفادة من حقيقة ان محلول هيدروكسيد الكالسيوم (ماء الكلس) يتفاعل مع ثانى اوكسيد الكربون مكونا كربونات الكالسيوم غير الذائبة . ولذلك يؤخذ دورقان يوضع فى احدهما بذور الحمص الجافة ويسد بسدادة محكمة ويترك لعدة ساعات بعد فترة من الوقت يضاف الماء الى هذا الدورق عن طريق القمع ليحل محل الهواء الموجود فيه . فينتقل الهواء المطرود الى الدورق الثانى ، الذى يحتوى على هيدروكسيد الكالسيوم عن طريق الانبوبة الموصلة بين الدورقين ، وبما ان هذا الهواء لا يحتوى الا على نسبة قليلة من ثانى اوكسيد الكربون فان ماء الكلس سوف لن يطرأ عليه اى تغير يذكر . اما فى حالة كون البذور مستنبتة فان الهواء المطرود من الدورق سيعمل على تغير ماء الكلس ليحوله الى راسب حليبى من كربونات الكالسيوم ، وذلك بسبب نسبة ثانى اوكسيد الكربون المرتفعة فى هذا الدورق (شكل : 6ـ1) .



شكل (6 ـ 1) استعراض انتاج ثانى اوكسيد الكربون باستخدام بذور البازلاء المنبتة. ينزاح الهواء من القارورة على (اليسار) الى القارورة على اليمنى مارا بماء الجير Lime Water يظهر راسب ابيض من كربونات الكالسيوم فى القارورة اليمنى مما يدل على وجود ثانى اكسيد الكربون.

الفقد فى الوزن : *Loss in weight*

فقد الوزن نتيجة لعملية التنفس اثبت تجريبيا على نباتات خضراء نقلت الى مكان مظلم ، لان اجراء التجربة فى الضوء

قد يؤدى الى زيادة فى الوزن نتيجة للبناء الضوئى . ويمكن بسهولة ايضا حساب فقد الوزن نتيجة للتنفس عن طريق بذور مستنبتة ، وذلك باخذ عدد منها بعد حساب محتواها من الرطوبة ووزنها الجاف ومن ثم استنباتها فى الظلام . وقبل ان تستنفذ البادرات جميع الغذاء المخزون فى البذور يؤخذ وزنها الجاف مع بقايا البذور . فوجد ان وزنها اقل من الوزن الجاف للبذور التى بدأت فيها التجربة . هذا الفرق فى الوزن يمثل كمية الكربوهيدرات التى فقدت بالتنفس .

التنفس وعملية الشهيق والزفير :Respiration and Breathing تنفس النبات يجب ان يحدث فى كل خلية حية نشطة فيه لكى يبقى حيا . والتنفس لا يقتصر على النباتات وحدها بل يشمل أيضا جميع أنواع الحيوانات . ومن الآن يجب أن يكون واضحا الفرق بين التنفس وعملية الشهيق والزفير وذلك لأن مصطلح التنفس عموما يستخدم كمرادف لعملية الشهيق والزفير ، وهذا خطأ . فالحيوانات الأكثر رقيا لها جهاز تنفسى يتضمن الرئتين اللتين يدخلهما الهواء مارا على أغشية رطبة مملوءة بأوعية دموية صغيرة . حيث يحدث التبادل الغازى بين الاوكسجين وثانى اوكسيد الكربون ، اذ يُحمل الدم بالاوكسجين الذى يقوم بتوصيله إلى الخلايا ليستخدم فى التنفس ، أما النباتات فليس لها مثل هذه الآلية فى التنفس ، بل يحدث التبادل الغازى فيها بين الانسجة الداخلية والهواء الخارجى عن طريق الانتشار فقط . فى حين أن آلية التنفس بعملية الشهيق والزفير تسمح لكميات من الاوكسجين بالوصول إلى أنسجة نشطة بعيدة عن السطح . وتكتسب عملية التنفس أهمية حقيقية ذلك لمسئوليتها عن تحويل الطاقة . ومن الأهمية بمكان التأكيد على أنه لا يوجد اختلاف مابين عمليات التنفس فى كل من النبات والحيوان . فالنباتات تتنفس بينما تقوم بعض الحيوانات بكلتا العمليتين الشهيق والزفير والتنفس .

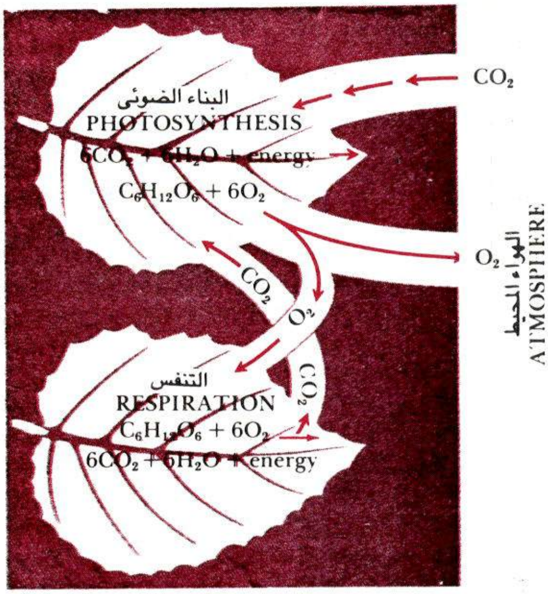
التبادل الغازى فى البناء الضوئى والتنفس Gas Exchanges in Photosynthesis and Respiration

إن المقارنة بين البناء الضوئى والتنفس تظهر أن التبادلات الغازية لأحدهما هى عكس ماهى عليه فى الآخر . ففى البناء الضوئى يستخدم ثانى اوكسيد الكربون ويتحرر الاوكسجين كناتج عرضى ، أما فى التنفس فإن الاوكسجين هو الذى يستخدم بينما ثانى اوكسيد الكربون يتحرر كناتج عرضى . وبما أن كلتا العمليتين تحدث فى نفس الوقت فى خلايا النباتات الخضراء وبوجود الضوء ، فان السؤال الذى يطرح نفسه هو مدى استفادة النبات من نواتج هاتين العمليتين .

ان الدلائل تبين وبشكل جلى أن ثانى اوكسيد الكربون المتحرر أثناء التنفس يمكن ان يستخدم فى البناء الضوئى ، كما ان الاوكسجين المتحرر فى البناء الضوئى يمكن ان يستخدم فى التنفس . وتحت ظروف شدة الضوء المنخفض يمكن لهاتين العمليتين ان تتوازنا ، ولذلك لا يلاحظ اى نوع من التبادل الغازى للاوكسجين وثانى اوكسيد الكربون بين الورقة والمحيط الخارجى . وشدة الضوء التى عندها يحدث التوازن فى الورقة تدعى بدرجة التعادل Compensation Point .

وشدة الضوء عند درجة التعادل تكون منخفضة ، اذ لا تتجاوز فى العادة 2 ٪ فى ضوء الشمس الكامل ولكنها تختلف باختلاف النباتات . إن درجة الحرارة وغيرها من العوامل الأخرى المؤثرة على كل من التنفس والبناء الضوئى ، لها تأثيرها أيضا على درجة التعادل . فعند هذه الدرجة لا يوجد زيادة أو نقصان فى الوزن الجاف للأوراق خلال النهار . وفى ظل هذه الظروف لا يتمكن النبات من الاستمرار طويلا فى الحياة لأن تنفس الأجزاء الخضراء من النبات خلال النهار يستخدم قسما من الغذاء ويستخدم أيضا قسما منه فى الليل حيث تحدث عملية التنفس وحدها . ولذلك يستطيع النبات ككل أن يبقى تحت ظروف هذه الدرجة مادام هناك وفر فى المخزون الغذائى .

وتجرى عملية البناء الضوئى فى النهار بمعدل خمس إلى عشرات مرات أكثر من معدل سرعة التنفس . ويحدث هذا فقط إذا ماتعرض النبات إلى ضوء كاف . وعليه فان ثانى اوكسيد الكربون المتحرر من التنفس يستخدم جميعه فى البناء الضوئى ، علاوة على كمية اخرى اضافية منه تؤخذ من الهواء المحيط عن طريق انتشاره داخل الورقة ، فى حين ان الزائد منه ينتشر بدوره من الورقة إلى الهواء ، وشكل (6 ـ 2) يوضح تخطيطياً هذا النوع من التبادل الغازى . فالنبات كما هو معروف يستخدم الاكسجين فى الليل فقط ويحرر ثانى اوكسيد



شكل (6 ـ 2) رسم تخطيطى يوضح التبادل الغازى فى البناء الضوئى والتنفس، الحادث فى ورقة خضراء اثناء النهار علما بان استهلاك ثانى اوكسيد الكربون يزيد من 5 ـ 10 مرات عن سرعة انتاجه.

الكربون . إن عملية البناء الضوئى فى الظروف الملائمة فى نبات طبيعى تكون سريعة بحيث أن ما يتحرر من اوكسجين خلال النهار أكثر مما يستخدم منه فى عملية التنفس فى فترة النهار والليل . ثم إن النبات يستخدم من ثانى اوكسيد الكربون أكثر مما يتحرر منه إلى الهواء .

بما أن معدل البناء الضوئى يزيد بصورة عامة عن معدل التنفس فان النباتات الخضراء تنتج من الغذاء أكثر مما تستهلكه فى تنفسها . حيث يستعمل هذا الغذاء الزائد فى الحال فى عمليات البناء أو يتجمع كمخزون غذائى فى خلايا خازنة . ويساعد الغذاء المتكون فى عملية النمو ، حيث إن النمو يستعمل الغذاء المتكون حديثا أو يمكن أيضا أن يستخدم قسما من الغذاء المخزون .

تأثير التنفس على هواء الغرف : Effects of Respiration on Air of Rooms

كثيرا ما يغالى بشدة فى تقدير كمية ثانى اوكسيد الكربون المتحرر فى عملية تنفس النبات ، ومن هنا جاء الاعتقاد بأن من غير الصحى ترك النباتات فى غرف النوم خلال الليل . وفى بعض المستشفيات تنقل النباتات المزروعة فى الاصص وكذلك الأزهار المقطوعة من الغرف التى ينام فيها المرضى . ولكن التجربة أثبتت خطأ الاعتقاد بان النباتات تفسد جديا هواء الغرفة . وإن نقل الصناديق أو الأزهار تتم فقط فى حالة أن المريض يمكن أن يتأثر بالروائح المنبعثة منها ، أو ربما لاطالة عمر الأزهار اذا وضعت فى غرفة باردة أثناء الليل .

ولاتخاذ قرار فاصل فى هذا الموضوع تعين تحديد مقدار ثانى اوكسيد الكربون فى الصباح الباكر وفى بيت زجاجى greenhouse مملوء بالنباتات ، حيث وجد أن نسبته هى **حوالى 0,05٪ وهى نسبة تقل عن ضعف نسبته فى الطبيعة ، علما بأن تركيز ثانى اكسيد الكربون 0.9٪ وهو اكثر من التركيز الطبيعى بـ 30 مرة ويستعان به فى هواء الغواصات ويفضله البحارة ، ذلك لعمله على عزل اجسامهم ومنعها من فقدان بعض من حرارتها نتيجة لبرودة جدران الغواصة . كما ان نسبة تركيز 3٪ من ثانى اوكسيد الكربون وهى اعلى مائة مرة من تركيزه فى الهواء العادى يمكن للانسان تحملها رغم ما تسببه من عدم الراحة . اضف الى ذلك ان نسبة 20٪ من ثانى اوكسيد الكربون تسبب تخدير الانسان ، واذا اما زادت الى 40٪ تسبب الوفاة .**

ومما تقدم يتضح أن تنفس النبات فى غرف النوم المغلقة يستبعد أن يكون له تأثير ضار على الانسان . وعلى العكس من ذلك فإن تنفس الانسان فى الغرف المزدحمة ربما يؤدى إلى رفع نسبة تركيز ثانى اوكسيد الكربون إلى اكثر من 1 ٪ .

مقارنة بين البناء الضوئى والتنفس : Photosynthesis and Respiration Compared

يمكن وضع الحقائق عن البناء الضوئى والتنفس فى صورة جدول وذلك للتفريق بين هاتين العمليتين :

البناء الضوئى Photosynthesis	التنفس Respiration
1 ـ يحدث فقط فى الخلايا الخضراء للنباتات	1 ـ يحدث فى كل خلية حية نشطة حيوانية كانت أم نباتية
2 ـ يحدث فقط بوجود الضوء	2 ـ يحدث طوال فترة حياة الخلية فى الضوء وفى الظلام .
3 ـ يستخدم فى هذه العملية الماء وثانى اوكسيد الكربون	

البناء الضوئى	التنفس
4 ـ يتحرر الاوكسجين	3 ـ يستخدم هنا الغذاء والاوكسيجن
5 ـ الطاقة الشمسية تتحول إلى طاقة كيميائية	4 ـ يتحرر ثانى اوكسيد الكربون والماء
6 ـ ينتج عنه زيادة فى الوزن	5 ـ الطاقة الكيميائية تتحول الى حرارة وطاقة مفيدة تخزن فى الـ ATP
7 ـ الغذاء هو الناتج	6 ـ ينتج عنه نقصان فى الوزن
	7 ـ الغذاء يتكسر إلى أجزائه الأساسية

العوامل التى تؤثر على معدل التنفس : Factors Affecting the Respiration Rate

يتأثر معدل التنفس فى أنسجة النبات بالحرارة والرطوبة والاصابة وعمر النسيج المعنى ونوعه وتركيز ثانى اوكسيد الكربون والاوكسجين وكمية الغذاء المتوفر، وعوامل أخرى غيرها. وعلى الرغم من أهمية كل من هذه العوامل من ناحية الوقوف على نشاطات النبات فى الظروف الطبيعية والتجريبية إلا ان لها أهمية عملية ومباشرة أيضا من حيث ارتباطها بنقل وتخزين الحبوب والثمار وكذلك الخضروات .

إن تجهيز الغذاء لشعوبنا المتمدنة المتمركزة بشكل كبير فى المدن ، هى مشكلة لا تقتصر على الانتاج فقط ولكن تشمل ايضا التخزين والتوزيع . والمشكلة معقدة بسبب أن نشاط انسجة النبات لا يتوقف عند حصادها . فالحمضيات والتفاح والثمار الاخرى والبطاطس والخضروات من جميع الأنواع تبقى حية وتتنفس بعضا من الوقت ـ قد يصل لعدة شهور ـ قبل استهلاكها . ومالم تعامل وتخزن بشكل مناسب فان هذه الاغذية تتلف اما من خلال نشاطاتها الخاصة أو بتأثير عمل البكتريا والفطريات . إن معاملة هذه المنتجات تتضمن مايسمى بمعاملة مابعد الحصاد "after – harvest" التى لها صلة بكل من المتخصصين فى النبات والهندسة وتشمل العديد من مشاكل التخزين ومنها درجة الحرارة والتهوية .

يظهر بعد الحصاد مباشرة أو خلال تعاقب التخزين مفعول الانزيمات فى الثمار والخضروات على مختلف المواد الموجودة فى انسجتها مما يؤدى تدريجيا إلى حدوث تغيرات فى لونها وقوامها texture وتركيبها الكيميائى . وتعتمد هذه التغيرات على انزيمات خاصة ، ولهذا فإن من المهم ايجاد ظروف تخزين مناسبة تقلل أو تبطىء من معدل هذه العمليات . يزداد بسرعة معدل التنفس ومعدل التفاعلات الانزيمية بارتفاع درجة الحرارة إلى حد معين ، وعليه فإن درجة الحرارة المنخفضة أو التبريد هى الطريقة المستعملة على نطاق واسع فى تخزين الاغذية .

إن فعالية درجات الحرارة المنخفضة عند التخزين ترجع إلى ابطاء معدل عملية التنفس وتفاعل الانزيمات الأخرى مع أنسجة النباتات الراقية والبكتريا والعفن . وتتشابه العلاقة بين درجة الحرارة والتنفس مع العلاقة بين درجة الحرارة ومعدل التفاعلات الكيميائية الاخرى : فضمن حدود معينة يتضاعف معدل التنفس أو يزداد ثلاث مرات عند كل زيادة فى درجات الحرارة مقدارها 10 م° (18 ف°) حتى الوصول إلى درجة 40 م° (104 ف°) فأعلى . ففى أحد الفحوص وجد أن معدل تنفس ثمار الشليك (الفراولة) strawberries عند 24 م° (75 ف°) . كان أكثر بعشر مرات منه عند 0 م° (32 ف°) ومثل هذا الاختلاف فى المعدل يمكن توقعه فى حالة التفاعلات الانزيمية . وفى هذا المثال كانت الزيادة فى معدل التنفس والعمليات الانزيمية الأخرى بمقدار 10 مرات أو اكثر إذا ما رفعت درجة الحرارة من 0 إلى 30 مْ (32 ـ 86 فْ)وتقل بنفس النسبة إذا ما خفضت درجة الحرارة بنفس المدى ـ مما يصور بجلاء فعالية التبريد فى حفظ الثمار والخضروات الطازجة .

ان معدل التنفس لبعض الثمار الطازجة والخضروات مبينة فى (جدول 6ـ1) . وبما أن 1 ملليغرام لكل كيلو غرام واحد هو بنسبة واحد لكل مليون ، فإن جميع المعدلات تعتبر أقل بعدة مرات إذا ما قورنت بالمعدل النمطى لتنفس الإنسان مثلا . وإن إنتاج ثانى اوكسيد الكربون من الجلوكوز يتضمن فقدانا فى الوزن الجاف .

جدول 6 ـ 1 تنفس الخضروات والفواكه الطازجة

المنتـــــوج		ثاني اوكسيد الكربون المنتج (مللجم/كجم هـواء نقي/ساعـة)
الهليون	Asparagus (Asparagus officinalis)	439
الشليك (الفراولة)	Strawberries (Fragaria chiloensis)	197
الفاصوليا	Green beans (phaseols vulgaris)	186
الجـزر	Carrots (Daucus carota)	171
البصل الاخضر	Green onions (Allium cepa)	161
الخـس	Lettuce (Lactuca sativa)	153
المـوز	Bananas (Musa sapientum)	98
الكمثرى	Pears (Pyrus communis)	73
الطماطم	Tomatoes (Lycopersicum esculentum)	63
البرقوق	Plums (prunus domesticum)	52

ويشمل أيضا فقد الوزن فى ثمـار الفاكهـة والخضروات فقد كمية من الماء فيها عن طريق التبخر . ولذلك فإن درجة الرطوبة فى غرف التخرين لها تأثير مباشر على نوعية المنتجات المخـزونة فيها . فإذا كانت درجة الرطوبة منخفضة فـإن المنتجات تجف وتذبل بسرعة ، أما اذا كانت عالية فان الثمار تتعفن وتفسد .

تخزن الحبوب فى صوامع elevators (شكـل 6ـ3) حيث تفقـد جزءا من وزنهـا الجاف بمعـدل يمكن مـلاحظتـه بسبب عملية التنفس ، ويعتبر هـذا الفقد عـاملا مهمـا يدخـل ضمن تكاليف الخزن . وفى حالة ما اذا كانت نسبة الرطوبة أعـلى من الحدود الواقعـة بين 10 ـ 18٪ فـإن معدل التنفس للحبـوب يتضاعف تقريبا لكل واحد بالمائة ، زيادة فى محتوى الرطوبة . ولهذا السبب تقبل مؤسسات الصوامـع تخزين الحبـوب التى بهـا نسبة رطـوبة عـالية بشرط أن يخفض سعـرها تخفيضـا كبيرا . إذ يتوجب تجفيف هذه الحبوب بالطرق الاصطناعية أو خلطها بحبوب جافة قبل عملية التخرين ، وذلك لتخفيض نسبة رطوبتها ومعدل تنفسها بنـاء على ذلـك . ويمكن إيقاف عمليـة التنفس نهـائيا وذلـك بقتل الحبـة وبافسـاد مـا تحـويـه من انزيمات تنفسيـة . إلّا أن الحبوب الميتـة تتعفن أيضا كمـا أن التغيرات الكيميائية تكسبها طعما غير مقبول .

وبالإضافة إلى هذه الخسائر تطرأ على الثمـار والمحاصيـل تغيرات أخرى بعـد الحصاد ، اذ تستخـدم السكريـات كمادة تنفسية أو تتحول إلى نشاء أو إلى مواد لجـدران الخلايـا . مما يجعل المحصول صلبـا ومتخشبا وغـير مستسـاغ . ومثـل هذه التغيرات تعتبر مـزعجة فى بعض النبـاتات مثـل نبات الهليـون ومفسدة للبازلاء والـذرة السكريـة . وبسبب حدوث مثـل هذه التغيرات التى تعقب حصادهـا نجد أن الخضر وات المقطـوعة من الحدائق فى حالة استهلاكها فورا تكون أحلى مذاقا وغضـة اكثر من تلك التى تم حصـادها قبـل يومـين أو أربعة من يـوم



شكل (6 ـ 3) صوامع الغلال الضخمة التى تستخدم فى تخـزين القمح . اى دور يلعبه التنفس فى هذه الصوامع؟

عرضها للبيع . فتحول السكر الى نشاء فى الذرة السكرية على سبيل المثال يلاحظ خلال عدة ساعات من الحصاد ، ويمكن أن يتم نهائيا خلال يوم واحد .

كما أن الظروف السيئة فى التخزين مثل درجة الحرارة المرتفعة وقلة الرطوبة تسبب ظهور أمراض فسيولوجية ، مثل سواد قلب «blackheart» درنة البطاطس ، وتغير لون قشرة التفاح إلى اللون البنى وغير ذلك من الأعراض التى تفقد المحصول قيمته الغذائية بسرعة ، وتعرقل تسويقه .

تفاعلات التنفس : Respiratory Reactions

تشير المعادلة رقم (1) الى ان النتيجة النهائية للتنفس هى اكسدة السكر وتحويل الطاقة الكيميائية التى كانت قد سبق تثبيتها فى السكر فى عملية البناء الضوئى . وهذه المعادلة يمكن تفسيرها على أساس أن الطاقة الكيميائية للسكر تتحول بخطوة واحدة . والواقع أن السكر يتجزأ على مراحل تحت تأثير عديد من التفاعلات الانزيمية ، حيث تتوفر الطاقة بكميات قليلة وعلى خطوات ليتسنى للخلية الاستفادة منها . إن تشخيص مختلف مراحل اكسدة السكر ومعرفة الانزيمات المؤثرة فى كل من هذه المراحل هى احدى المنجزات الجديرة بالملاحظة فى العقود الأخيرة . وهذه التفاعلات هى من التعقيد بحيث لا يتسنى هنا إلا ذكر أهم تفاصيلها فقط .

إن الطاقة الكيميائية للسكر لا يمكن الاستفادة منها مباشرة بواسطة الخلية ، ولكن تتم الاستفادة منها فقط عند اتحادها بمركبات ذات طاقة مرتفعة مثل الـ ATP . فلقد رأينا فى الفصل الخامس أن الـ ATP يمكن أن يتكون فى البلاستيدات الخضراء بواسطة الطاقة الضوئية ، ونفس المركب يمكن أن يتكون مع الطاقة الناتجة عند أكسدة السكر ومركبات عضوية اخرى . وهذه السلسلة من التفاعلات تدعى بالسفسرة التأكسدية Oxidative phosphorylation*O، وذلك لتمييزها عن السفسرة الضوئية photophosphorylation فى عملية البناء الضوئى .

يمكن تصوير جزىء الـ ATPبالبطارية الخازنة الصغيرة جدا والمشحونة بالطاقة الكيميائية فى وقت تكوينها . وعندما يستفاد من طاقة الـ ATP فى عمل الخلية فإن الجزء يرجع ليكون ادينزين ثنائى الفوسفات (ADP) أو ادينزين احادى الفوسفات (AMP) ، وفوسفات لا عضوية ، حيث تنضم الفوسفات المتحررة هذه الى مجموع الفوسفات اللاعضوية فى الخلية . وفى حالة توفر الطاقة المطلوبة من جديد فإن جزيئات الـ AMP أو الـ ADP تشحن مع الفوسفات مرة أخرى متوحدة فى جزيئات الـ ATP . وهكذا فإن الادينزين الثلاثى الفوسفات (ATP) المشحون بالطاقة بالكامل مع جزيئات الـ ADP والـ AMP غير المشحونتين او المشحونتين جزئيا تكون فى مجموعها بطارية الخلية «battery» انظر شكل (4ـ3)

تحلل السكر : Glycolysis

المرحلة الأولى من سلسلة تفاعلات التنفس فى النبات أو الحيوان هى تحول الجلوكوز الى الحامض البيروفى pyruvic acid وهذا التحول يدعى بتحلل السكر* (شكل : 6 ـ 4) . وتحدث هذه التفاعلات فى السيتوبلازم وليس فى البلاستيدات الخضراء أو الميتكوندريا أو العضيات الأخرى للخلية . وعلى نقيض ما هو متوقع فإن الخطوة الاولى من التفاعل للحصول على الطاقة من جزىء السكر لا تتم إلا باضافة طاقة اليه . والطاقة هذه ضرورية لتنشيط جزىء السكر قبل أن تستطيع الانزيمات تحويله . ويصاحب هذا التنشيط استخدام جزىء الجلوكوز لبعض طاقة الـ ATP المشتقة من تفاعلات التنفس السابق . ولحسن الحظ يمكن تخزين الـ ATP لفترة طويلة ، كما يحدث فى البذور الجافة ، حيث يستخدم بعد أن تستأنف البذرة نشاطها التنفسى عند الانبات . كما أن استخدام الطاقة من قبل جزىء السكر يصاحبه انفصال ذرة فوسفات من الـ ATP لكى تتحد جنبا الى جنب مع طاقتها بجزىء الجلوكوز لتكوين فوسفات الجلوكوز . وجزىء الجلوكوز يكون بعد ذلك منشطا وجاهزا للخطوة التالية . وفى نفس الوقت يتحول جزىء الـ ATP إلى مركب ذى طاقة أقل هو الـ ADP .

يمر الآن جزىء فوسفات الجلوكوز المنشط خلال سلسلة من التفاعلات الانزيمية ، حيث ينقسم إلى جزيئين من سكر ثلاثى الكربون . وذلك بأن يتحول فوسفات الجلوكوز أولا إلى

---

* تحلل السكر Glycolysis ويقصد به تلك العملية الجارية اثناء التنفس والتى يتحول فيها السكر بمعزل عن الهواء الى حامض بيروفى Pyruvic acid) مع تحرر كمية بسيطة من الطاقة المفيدة .

فـوسفات الفـركتوز ثم إلى فـوكتوز ثنـائى الفوسفـات نتيجـة لارتباط فوسفات الفركتوز بفوسفات ذات طاقة مرتفعـة ، ومن ثم ينقسم جزىء الفوكتوز ثنائى الفوسفات انزيميا إلى جزيئين من سكر فوسفاتى ثلاثى الكربون كما فى المعادلة (2) .

$$P \sim C_6H_{12}O_6 \sim P \longrightarrow 2P \sim C_3H_6O_3 \quad (2)$$

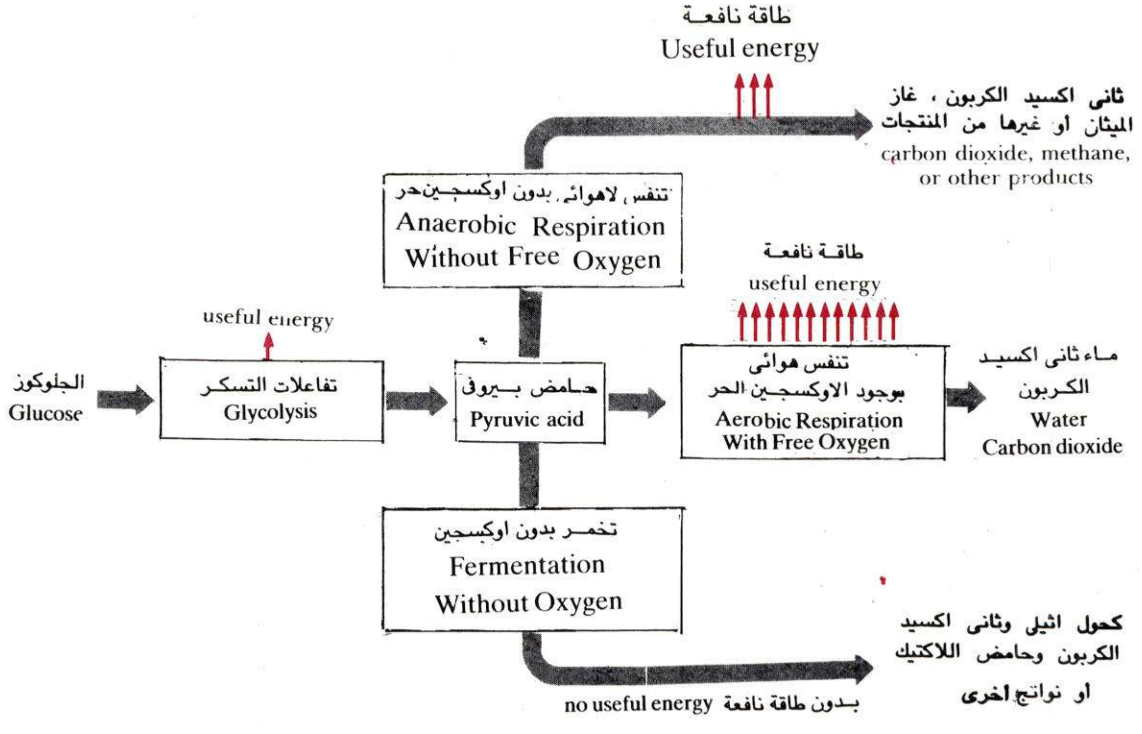
فوكتوز ثنائى الفوسفات	الدهيد الجلسرين الفوسفاتى
fructose diphosphate	glyceraldehyde phosphate

وللعلم فـان هذه الجـزيئـات هى نفس جـزيئـات الـدهيـد الجلسرين التى وجـدناهـا كأول سكـر ناتـج من عملية البنـاء الضوئى . كما يقصد بالفوسفات (p^-) أنه ذو طاقة مرتفعة .

ثم تتأكسد جزيئات الـدهيد الجلسرين الفـوسفاتى وذلـك بـواسطة انتـزاع ذرتين هيـدروجين من كـل جـزىء . وبهـذا التأكسد يتغير السكر ـ ثلاثى الكربون (الدهيـد الجلسرين) بعد بضعة خطوات بينية إلى جزىء هام هو الحامض البـيروفى (معادلة ـ 3) .

$$2P \sim C_3H_6O_3 + 2NAD + 2PO_4 + 4ADP \longrightarrow 2CH_3COCOOH + 2NADH_2 + 4ATP \quad (3)$$

$2P \sim C_3H_6O_3$	$2NAD$	$2PO_4$	$4ADP$	$2CH_3COCOOH$	$2NADH_2$	$4ATP$
الدهيد الجلسرين الفوسفاتى	(NAD المؤكسدة)	فوسفات لا عضوى	ادينزين ثنائى الفوسفات	حامض بايروفى	(NAD المختزل)	ادينزين ثلاثى الفوسفات
glyceraldehyde phosphate	oxidized NAD	inorganic phosphate		pyruvic acid	reduced NAD	adenosine triphospate



شكل (6 ـ4) رسم تخطيطى يوضح تسلسل التفاعلات التنفسيـة . يظهر فى هذا الشكل ان تفاعلات التسكر (تحلل السكر) Glycolysis مشتركـة فى كل مسارات التنفس، ويقترح الشكل مردود الطاقة النسبى لكل عملية .

إن الأكسدة عن طريق انتزاع الهيدروجين (dehydrogenation) وليس باضافة الاوكسجين هى التفاعل التأكسدى الاعتيادى فى التنفس . وتأخذ ذرات الهيدروجين المنتزعة فى الدهيد الجلسرين بواسطة جزىء مستلم للهيدروجين هو الـ Nicotinamide Adenine (NAD) Dinucleotide . ويطابق هذا الجزىء نظيره المستلم للهيدروجين فى عملية البناء الضوئى ما عدا افتقار الاول الى مجموعة فوسفات اضافية اى NADP .

وأحيانا خلال هذه التفاعلات يرتبط كل جزىء من الدهيد الجلسرين مع جزىء من الفوسفات غير العضوى ذى الطاقة القليلة بالاضافة إلى ارتباطه مع فوسفات غنية بالطاقة محمولة اليه من المعادلة (2) .

كما أن أكسدة الدهيد الجلسرين وتحوله إلى حامض بيروفى يزيد من الطاقة الكيميائية للجزىء . وتساعد هذه الطاقة فى رفع المستوى الطاقى للفوسفات غير العضوى عند تكوين الـ ATP . وهذه الفوسفات الأربع يمكن انتقالها إلى الـ ADP لتكوين أربعة جزيئات من الـ ATP . حيث يستخدم جزيئين من الـ ATP لكل جزىء جلوكوز خلال تحلل السكر ، أما جزيئات الـ ATP المستعادة فتكون اربعة ، وبذلك يكون صافى الناتج منها جزيئين . وهذا الـ ATP الناتج يضاف الى مصدر الطاقة المفيدة فى الخلية وتمثل تفاعلات تحلل السكر فى بعض الكائنات الحية كبكتريا حامض اللبنيك lactic acid bacteria المصدر الوحيد لطاقة الخلية . كما ويجب ملاحظة أن تحلل السكر يمكن أن يحدث إما بوجود الاوكسجين أو بدونه ذلك لانه لا يستخدم الاوكسجين .

وكنتيجة لتحلل السكر تتحول جزيئات الجلوكوز غير الفعالة نسبيا الى جزيئات نشطة من الحامض البيروفى، وان حوالى 5٪ من طاقة الجلوكوز تستعاد فى صورة مركب من الـ ATP. ثم إن حوالى 80٪ من الطاقة المتبقية تبقى فى الحامض البيروفى و 20٪ يحملها مستلم الهيدروجين المختزل NADH، والكثير من هذه الطاقة المتبقية يستعاد فى النهاية بواسطة التنفس الهوائى الذى سوف يناقش فيما بعد. ولقد اقتصرنا عند التعرض لعملية تحلل السكر على خطوطها العامة ليس الا. ويعتبر مستلم الهيدروجين AND ناتجا معوقا هاما فى تفاعلات تحلل السكر. فلو أن هذا الجزىء لم يتخلص من هيدروجينه واستخدم من جديد، لتوقف تحلل السكر وحدث الموت فى النهاية.

انواع التنفس: Types of Respiration إن الأنواع المختلفة للتنفس (شكل: 6ـ4) يمكن تصنيفها حسب طريقة التخلص من الهيدروجين المنتزع اثناء تحلل السكر (1) ففى حالة ما اذا اتحد الهيدروجين من جديد مع الحامض البيروفى فان العملية تدعى بالتخمر Fermentation(2) وفى حالة اتحاد الهيدروجين مع الاوكسجين لبعض المركبات غير العضوية كالنترات (NO_3) أو ثانى اوكسيد الكربون (CO_2.) فان العملية تدعى بالتنفس الهوائى Anaerobic Respiration ويقتصر هذا النوع من التنفس على البكتريا فقط. (3) اما فى حالة اتحاد الهيدروجين بالحال مع الاوكسجين الحر للهواء فان العملية تدعى بالتنفس الهوائى Aerobic Respiration، والتنفس الهوائى هو اكثر العمليات شيوعا فى خلايا النباتات والحيوانات. ومصطلح التنفس يعنى تفاعلات تحلل السكر علاوة على التنفس الهوائى ما لم يحدد غير ذلك.

والمخطط فى شكل (6ـ4) يبين أن تحلل السكر يصاحب جميع انواع التنفس، ويشير ايضا بشكل عام الى نسبة الطاقة المستفاد منها والى تفاعلات التنفس المتعاقبة. وقد درست خطوات تحلل السكر وتفاعلات التنفس التى تعقبها بشكل مركز من قبل العديد من العاملين فى هذا المضمار. واحدى النتائج الجوهرية التى تم التوصل اليها هى ايجاد ان تفاعلات التنفس متشابهة أساسا فى الانسان وفى الحيوانات الاخرى، وكذلك جميع النباتات ما عدا البكتريا. فالتفاعلات التى تحدث فى البكتريا متشابهة فى جزء منها ومختلفة فى الجزء الآخر عما هو فى النباتات والحيوانات.

التخمر: ***Fermentation*** غالبا مايستعمل اصطلاح التخمر بشكل يخلو من الدقة من قبل علماء الاحياء كمرادف للتنفس اللاهوائى او كتفاعل خاص بالخمائر yeasts والبكتريا. ففى عديد من البكتريا يمكن أن يحدث كل من التخمر والتنفس اللا هوائى، ولكن يمكن أن تكون هناك صعوبة فى التمييز بينهما. فالتنفس اللاهوائى فى أغلب النباتات والحيوانات هو تماما نوع من التخمر، ومن بين

العديد من انواع التخمر هناك نوعان شائعان جدا أحدهما يدعى بتخمر حامض اللبنيك lactic acid fermentation الذى يحدث فى الحيوانات والبكتريا. أما الآخر فهو التخمر الكحولى الذى يحدث فى النباتات الراقية وبعض البكتريا وفى الخمائر. أما أوجه الشبه والاختلاف بين هذين النوعين من التخمر فتوضحها المعادلتان (4) و (5) حيث يحدث عند تخمر اللبنيك أن ينتقل الهيدروجين من الـ $NADH_2$ الى الحامض البيروفى بسهولة. أما فى التخمر الكحولى فيحدث تفاعل اضافى محررا ثانى اوكسيد الكربون (CO_2)

$$2CH_3COCOOH + 2NADH_2 \longrightarrow$$

الحامض البيروفى	NAD المختزل
pyruvic acid	reduced NAD

$$2CH_3CHOHCOOH + 2NAD \quad (4)$$

حامض اللاكتيك	NAD المؤكسد
lactic acid	oxidized NAD

$$2CH_3COCOOH + 2NADH_2 \longrightarrow$$

الحامض البيروفى	NAD المختزل
pyruvic acid	reduced NAD

$$2CH_3CH_2OH + 2CO_2 + 2NAD \quad (5)$$

كحول	ثانى اوكسيد الكربون	NAD المؤكسد
alcohol	carbon dioxide	cxidized NAD

وهذه الخطوات النهائية التى تتبع تحلل السكر لاينتج عنها طاقة . فعملية تحلل السكر وكذلك التخمر يفتقران بالنسبة لمردود الطاقة، كما أن نواتجها النهائية تكون سامة للخلايا التى يحدث بها التخمر. واذا ما تجمعت هذه النواتج فانها سوف توقف نشاطات الخلايا وبذلك يمكن ان تتسبب فى قتلها.

ويحدث تخمر حامض اللبنيك فى عضلات أنسجة الحيوانات كلما تجاوز معدل تحلل السكر معدلات الخطوات المتعاقبة للتنفس الهوائى، كما يحدث للرياضى اثناء بذل مجهود كبير.وهذا التخمر يكون وقتيا وهو عملية تحدث وقت الضرورة حيث تسمح باستمرار تحلل السكر مع تحرر قليل من الطاقة المفيدة. ويلاحظ ايضا أن هذه الطاقة تتحرر فى السيتوبلازم، حيث تستخدم فى الحال فى العمل العضلى. وعند توقف الرياضى ليلتقط انفاسه يتأكسد حامض اللبنيك المتراكم الى ثانى اوكسيد الكربون والماء مع تكوين الـ ATP او يتاكسد بالاتجاه المعاكس لكى يعود جلوكوزا. والبكتريا هى أساسا التى يحدث فيها تخمر حامض اللبنيك فى النباتات. فحفظ بعض أنواع الطعام او الغذاء كالكروت (طعام معد من كرنب محمر) والاعلاف الخضراء المحفوظة ينتج عن تثبيط النمو البكتيرى بواسطة تجمع نواتج التخمر وبشكل رئيسى حامض اللبنيك. اما التخمر الكحولى، كما أشير اليه سابقا، فيختلف عن تخمر حامض اللبنيك من حيث ان ثانى اوكسيد الكربون يتحرر اثناء التفاعل المبين فى المعادلة (5). والخمائر هى المنتج الرئيسى للكحول الاثيلى. ولكن العديد من البكتريا تنتج الكحول ايضا كما تفعل أغلب النباتات الراقية عندما تحرم من اوكسجين الهواء.

تختلف قابلية الخلايا للحياة تحت ظروف شح مصادر الطاقة وفى تجميعها لنواتج التخمر اختلافا بينا. فنسيج المخ الذى لايعوض يمكن أن يتلف اذا بقى بدون اوكسجين لمدة تزيد عن 5 دقائق فى حين أن البذور المبتلة التى تملك نشاطا تنفسيا عاليا لايمكن ان تتحمل غياب الاوكسجين الا لبضع ساعات، عكس البذور الجافة التى هى جوهريا لاتتنفس وبذلك يمكن أن تصمد بدون اوكسجين على مدى العديد من السنوات، بل يمكن ان تتضرر من الاكسجين خاصة فى درجات الحرارة العالية. ومن المحتمل ان الاختلاف فى امكانية تحمل خلايا النبات، نقص الاوكسجين او حتى فقدانه بالكامل يرجع اولا الى امكانية قيام الخلايا بوظائفها عن طريق تزودها بمصدر طاقة شحيح، اكثر من اعتمادها على تفاعلات التخمر.وينطبق هذا التأثير على الحيوانات ايضا فحيوان الـ Marmota momax يموت خلال 3 ـ 5 دقائق اذا ماحرم من الاوكسجين، اما الحيوانات فى فترة السبات الشتوى حيث معدل التحولات الغذائية قليل جدا فيمكنها ان تعيش لمدة ساعة او اكثر بدون اوكسجين. فى حين ان بعض الحيوانات من ذوات الدم البارد تتمكن من

العيش ليوم واحد وحتى اكثر بدون اوكسجين ونجد ان جذور نباتات الرزأو التيفا (عشبة البرك) cattails المدفونة فى تربة مغمورة بالماء فتحصل فى العادة على الهواء الضرورى من خلال سيقانها حيث تكفيها للنمو بشكل طبيعى كما أن جذور النباتات النجدية التى تعيش فى المرتفعات حيث التربة جيدة التهوية لكونها مزودة بكمية مرموقة من الاوكسجين تموت لو غمرت التربة بالماء وذلك بسبب انقطاع تزودها بالاوكسجين اما جذور أشجار الارض الرطبة كالصمغيات (Nyssa aquatica) أو البلوط المائى water oaks (Quercus nigra فيمكن غمرها بالماء خلال فصل الشتاء أى عندما تكون فى فترة سباتها، بدون أن يحدث أى أذى بسبب قلة التنفس وذلك لانخفاض درجة الحرارة ولكن يمكن قتل هذه الاشجار عن طريق تكرار غمرها خلال الطقس الدافىء.

التنفس اللاهوائى: *Anaerobic respiration* يجرى التخلص من الهيدروجين فى التنفس اللاهوائى الحقيقى عن طريق اتحاده مع الاكسجين أو مع ذرات اخرى من بعض المركبات اللاعضوية، فمثلا يمكن التحصل على الاوكسجين من النترات ويتحرر من ذلك غاز النيتروجين. وتعرف هذه العملية بعملية نزع النيتروجين Denitrification كما سيأتى ذكرها فى الفصل العاشر. هناك نوع آخر من البكتريا يقوم بتحويل الكبريتات (SO_4) الى كبريت أو إلى كبريتيد الهيدروجين (H_2S) بطريقة مشابهة ويوجد نوع آخر من البكتريا يتمكن من المساعدة على اتحاد الهيدروجين مع ثانى اوكسيد الكربون لانتاج الميثان (CH_4) والماء. والبكتريا التى تقوم بالتنفس اللاهوائى الحقيقى لاتتمكن من القيام بأى تفاعل تنفسى آخر، كما يمنع الاوكسجين الحر نموها. يسبب التنفس اللاهوائى تحرير طاقة مفيدة أكثر مما فى التخمر ولكن اقل من التنفس الهوائى.

يجب التمييز ايضا بين نمط الحياة اللاهوائى (الحياة بدون هواء) والتنفس اللاهوائى. فبكتريا التخمير والخمائر يمكن أن تكون لاهوائية، ولكن لايمكن أن تقوم بالتنفس اللاهوائى كما ورد آنفا.

التنفس الهوائى: *Aerobic respiration* إن الهيدروجين الذى ينفصل عن تفاعل تحلل السكر والمحمول فى الـ $NADH_2$ المستلم للهيدروجين (معادلة 3) يتحد فى النهاية مع الاوكسجين الحر اذا ماتوفر مما ينتج عنه الماء. وهذه التفاعلات تشتمل على سلسلة معقدة من الخطوات التى نناقشها فيما يلى:

فنتيجة لهذه التفاعلات ينتج ثلاثة جزيئات من الـ ATP عن كل جزىء من الـ NADH. وعليه فإن تفاعلات التنفس الهوائى تعطى من الطاقة الموجودة فى الـ ATP والناتجة من الـ $NADH_2$ الناتج من تحلل السكر ثلاثة أضعاف الطاقة الناتجة عن تحلل السكر نفسه. كما يستمر الحامض البيروفى الناتج فى الاحتفاظ بالجزء الرئيسى من طاقة الجلوكوز. ويمكن تقسيم العمليات التى يتحول بواسطتها الحامض البيروفى الى طاقة مخزونة فى جزىء الـ ATP إلى ثلاثة اقسام (1) أكسدة الحامض البيروفى الى CO_2 و $NADH_2$. فى دورة كربس او كما تسمى بدورة حامض الستريك (حامض الليمون) Krebs or citric acid cycle.

2) انتاج الـ ATP من الطاقة الموجودة فى جـزيئات الـ $NADH_2$ حيث تدعى هذه العملية بالفسفرة التأكسدية Oxidative phosphory lation.

3) الاكسدة النهائية حيث يتم نهائيا التخلص من الهيدروجين بواسطة اتحاده مع اوكسجين الهواء.

الميتوكوندريا : Mitochondria

إن الانـزيمات التى تتحكم فى خطـوات تأكسـد الحـامض البيروفى فى دورة كربس (انظر التفاصيـل فى الفقرة التـالية) ثم تكوين الـ ATP بواسطة الفسفرة التأكسديـة ومن ثم اكسدة الهيـدروجين الى مـاء كمرحلـة نهـائيـة ، كـل ذلـك يحـدث فى الميتوكوندريا ، علما بأن بعضها يحدث فى السيتوبلازم أيضا . وبمـا أن الفسفرة التـأكسديـة هى المصدر الـرئيسى للطـاقـة الضرورية ، فقد اعتبرت الميتكوندريا بمثابة محطات للطاقـة فى الخليـة . والميتكونـدريا عبـارة عن عضيات صغـيرة قطـرهـا يتـرواح بين 0.5 ـ 2 ميكـرون فى حين أن طـولهـا يصـل الى 7 ميكرونات ، وتختلف من حيث الحجم والشكل : حيث يمكن أن تكون كرويـة أو خيطية أو قضيبيـة أو بيضويـة ، وهى لاترى الابصعـوبة تحت أقـوى المجاهـر الضوئيـة تكبيرا ، لـذلك لم



شكـل (6 ـ 5) ميتكـونـدريـا خليـة خمـيرة الـ
(Saccharomyces cerevisiae (بتكبير 21000)

نتمكن من الوقوف على تركيبها الداخلي الا بالاستعانة بـالمجهر الالكتـرونـي (شكـل : 3 ـ 3، 6 ـ 5) . ومن بـين الصفـات الأخرى للميتكوندريا أن لها غشاء مزدوجا ، وتمتد من الغشاء الداخلي Inner Membrane امتدادات الى الداخل على شكـل صفائح لتوفير مساحة واسعة من السطح للنشـاط الانزيمي . هذا وان الكثير من معلوماتنا عن تفاصيـل مراحـل التنفس قد أمكن التـوصل اليهـا عن طريق عـزل الميتوكوندريا عن بقيـة مكونات الخلية وذلك باستعمال آلة الطرد المـركزي بحـرص ، وذلك من أجل دراسـة التفاعـلات التي تحدث داخلهـا . وعن طـريق إضافـة مادة كيميـائية خـاصـة أو انـزيم مثبط أمكن تشخيص ومعرفة كل تفاعـل من التفاعـلات . وقد أمكن تتبـع أكسدة الحامض البيورفي ، عند تـوفر ظـروف ملائمـة ، حتى ثاني اوكسيد الكربون والماء وتكوين جزيئات الـ ATP

الحامض البيروفي ودورة كربس : Pyruvic Acid and the Krebs Cycle

الحـامض البيروفي هـو المفتاح في عمليـة التحول الغـذائي Metabolism في النبات والحيوان . ويمكن الاستفـادة منه في التخمـر لانتاج حـامض اللبنيـك أو الكحـول أو في تحـولـه الى الحوامض الأمينية أو الـدهنيات أو يستعمـل كمصدر للطـاقة التنفسيـة . ويتأكسـد الحامض البـيروفي في عملية التنفس في الميتكوندريا وذلك بوجود المـاء وانفصال الهيـدروجين عنـه في سلسلة من التفاعلات المعقدة التي تـدعى في مجموعهـا بدورة كربس .

تتكـون في دورة كربس أحمـاض عضـويـة مهمـة يمكن أن تستخدم في بناء الأحماض الأمينية مثلا أو ان الدورة يمكن أن تستمر عن طريق زيادة الماء وتحرر ثاني اوكسيد الكربـون أو الاكسدة عن طريق انتـزاع الهيدروجـين والكمية المعتبـرة من الطـاقة المتحـررة في هذه الأكسـدة يمكن الاستفـادة من قسم منها ، مع أنه يظن أن أغلبها تفقد على شكـل حرارة . ويحمـل كثير من الطاقة بواسطـة ذرات الهيدروجـين في الـ $NADH_2$ التي تنتقـل مباشرة في الميتكـونـدريـا الى سلسلـة اخـرى من التفاعلات .

ويمكن تتبع دورة كربس الكاملة في شكل (6 ـ 6) وتفاعلات هذه الدورة يمكن اجمالها في المعادلة رقم (6) .

$$2CH_3COCOOH + 6H_2O + 10NAD \longrightarrow$$

الحامض البيروفي pyruvic acid	ماء water	المؤكسد oxidized NAD

$$6CO_2 + 10NADH_2 \qquad (6)$$

ثاني اوكسيد الكربون carbon dioxide	المختزل reduced NAD

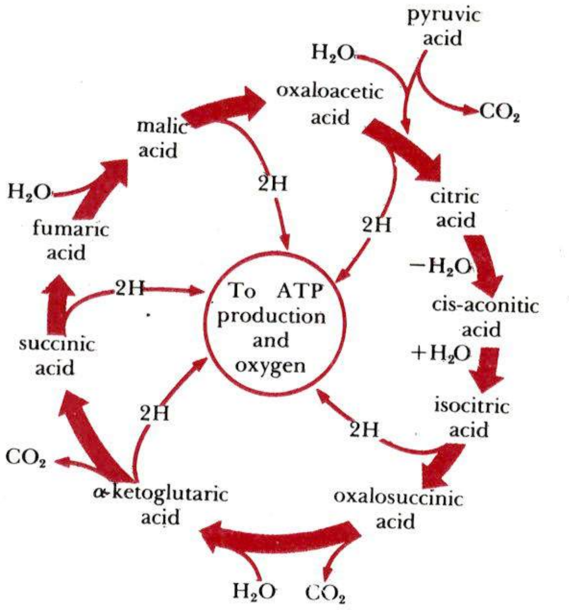
وبـالرجـوع الى المعادلتـين (2) و (3) نرى أن جـزيئين من الحـامض البيروفي يتكـونان مقـابل كـل جزيء من الجلـوكوز . وهذا هو السبب في أن المعادلة (6) قد كتبت بالنسبة لجزيئـين من الحـامض البيروفي (اي لجـزيء جلوكـوز واحد) . إن ثـاني اوكسيد الكربون الناتج عن عملية التنفس مصـدره الاعتيادي هـو دورة كـربس . أمـا المـاء الـذي يستخـدم هنـا كمصـدر للهيدروجين والاوكسجين فهو أكثر من الماء الناتج في الاكسـدة النهائية حيث ينتج $12 H_2O$. والناتج المهم لدورة كربس حتى الآن فيما يتعلق بالتنفس هو الـ $NADH_2$ الذي يذهب بدوره الى الفسفرة التأكسدية .

الفسفرة التأكسدية : Oxidative Phosphorylation

يعتقـد أن نسبة خمسـة وتسعـون فى المـائـة من الـ ATP الناتج من التنفس الهوائى يتكون خلال الفسفرة التأكسدية . وهذه العملية معقدة لم تدرس جيـدا حتى الآن ، وهى تشبه فى تفاعلاتها الأساسيـة الفسفرة التى نـوقشت فى الفصل ـ 5 . ففى الفسفرة الضوئية (شكل : 5 ـ 18) يرتفع مستوى طاقـة الالكترونات الى مستوى أعلى بواسطة ضوء الشمس ، ثم تعود فتهبط خلال مرور الالكترونات بالنظام الانـزيمى للسيتوكـروم (كمـا سيـأتى ذكـرهـا بعـد قليـل) ، حيث ان بعض طـاقـة الالكتـرونـات تستخـدم لتكـويـن الـ ATP مـن الـ ADP والفوسفات غير العضوى .

فى الفسفرة التأكسدية ترتبط الكترونات ذرات الهيدروجـين مع الـ NADH2 خلال تفاعل تحلل السكر وكذلك دورة كربس وتحمل بذلك الجزء الأكبر من الطاقة التى كانت قـد اختزنت فى السكر أثناء البناء الضوئى . ومن ثم تنفصل هذه الألكترونات عن الهيـدروجـين حيث تتحـرر فى السيتـوبـلازم كـأيـونـات للهيدروجين H^+ . والعلامة الموجبة كما سنشير اليها فيما بعد تمثل الكترونا مفقودا وهذه الالكترونات ذات الطاقـة المرتفعـة تحمل بواسطة ما يسمى بنظـام نقل الالكتـرونات المتكون من الأنزيمات وكذلك بواسطة جزء ناقل للالكترون كالـريبوفـلافين Riboflavin وبروتينات تنفسية خاصة تحتوى على الحديـد ، تدعى بالسيتـوكرومـات Cytochromes . والالكترونـات عند انتقالها خلال الريبوفلافين والسيتوكـرومات (b) و (c) و (a) حيث يستخدم بعض من طاقتها لتكوين الـ ATP . ويعتقد أن ثلاث جزيئات من الـ ATP تتكون من الـ ADP والفـوسفات اللاعضوى لكل زوج من الالكترونات التى تمر خـلال النظام ، وهذا مايعادل ثلاثة جزيئات من الـ ATP لكل واحـد من الـ $NADH_2$.

وهذه العملية تتشابه مـع عملية تـوليد الكهـربـاء بـواسطة استغـلال قوة دفـع مياه أنهـر الجبال . ومن خـلال عمل سـد لتحويل مجرى المياه وبالتالى استخدام سرعة الميـاه الساقطـة خلال السد لتحريك مولد كهربائى لتـوليد طـاقة كهـربائيـة ثم يمكن نصب مـولد ثـان وثالث لـلاستفـادة من القـوة المـائيـة الساقطة فى انتاج كمية أكبر من الطاقة الكهربائية .



شكـل (6 ـ 6) دورة كربس Krebs Cycle تتحـد ايونـات الهيـدروجـين المنفصلـة مـع الـ NAD (nicotinamide adenine dinucleotide) ومن ثم تتحرك الى الفسفرة المؤكسدة oxidative phosphorylation

الاكسدة النهائية : Terminal Oxidation

تفقد الالكترونات ، ذات الطاقة المرتفعة ، طاقتها المقيدة فى نهاية نظام انتقال الالكترون ، وبذلك تتسبب هذه الالكتـرونات فى اعاقة التفاعل . ومـالم تزول هـذه الالكترونـات فان عمليـة التنفس تتوقف ويموت الكائن الحى . أما اذا وجد الاوكسجين فى صورة أكثر فعالية فان هذه الالكتـرونات تنتقـل اليه وبـذلك تـزول من النظام . وعليـه يتأكسـد الاوكسجـين بـاستـلامـه للالكترونـات ، بينما تتـأكسد السيتـوكرومـات الحاملـة لهذه الالكترونات . ولذلك نجد أن الاوكسجين يعتبر عامـلا رائدا فى عمليـة التنفس حيث تأكـدت أهميته من الحقـائق التى كشف عنها اخيرا . وتعتبر ازالة الالكترونات فى النهاية من ضروريات التنفس ، وهنـا تكمن أهميـة الاوكسجـين وضرورتـه لجميـع أشكال الحياة ماعدا القلة

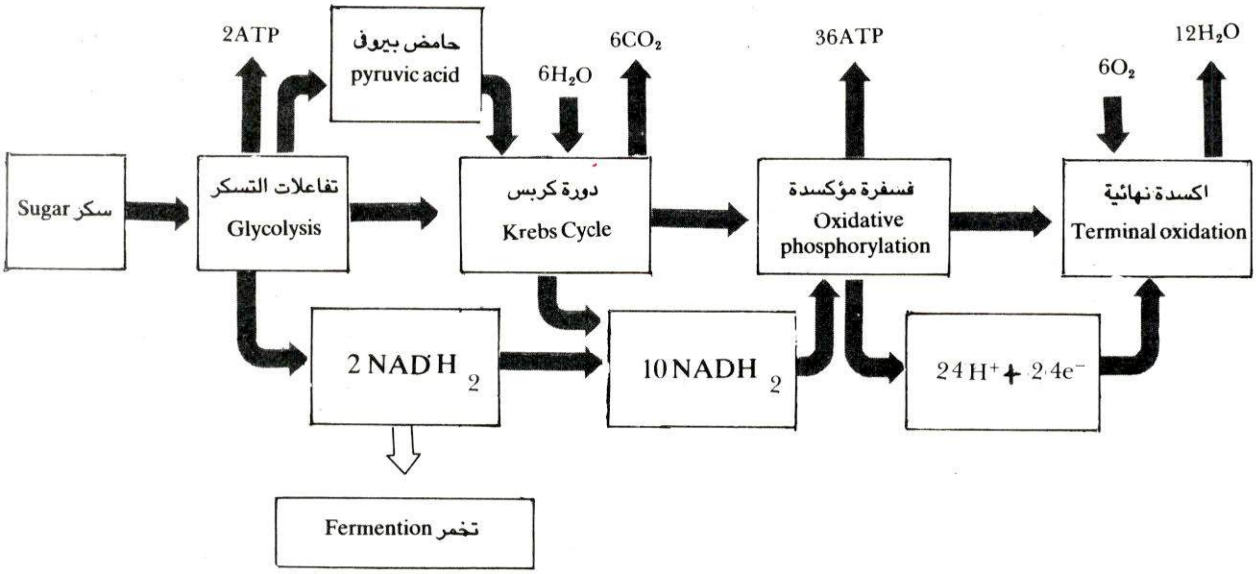
والاوكسجين فى شكله الجـزيئى الاعتيادى O_2 وفى درجـات الحرارة الاعتيادية غير فعال . وبطريقة أو باخـرى ينقسم هذا الجزىء غير الفعال حيث تستطيع من ثم كل ذرة منه ان تـرتبط بما لايتجاوز الكترونين لتكوين أيونـات الاوكسجين المكـافئة . وتأخذ الأيونات الفعالة الناتجة من انقسام جزىء الاوكسجين ايونين من ايونات الهيدروجين الفعـالة (H^+) ، يمكن ان تكـون أيـونات الهيـدروجـين هـذه هى نفسهـا التى انفصلت أثنـاء الفسفـرة التأكسـدية ، ومن ثم يتكـون المـاء (H_2O) . وهـذا التفـاعـل بخطـوطـه العـامـة مـوضـح فى المعـادلـة التـاليـة (معادلة 7) .

$$O_2 + 4e^- + 4H^+ \longrightarrow 2H_2O \quad (7)$$

اكسجين — الكترونات — ايونات الهيدروجين — ماء

oxygen — electrons — hydrogen ions — water

ويمكن اجمـال عملية التنفس فيمـا يلى : إن بعض الطـاقة الكيميائية للسكريات تتحول إلى طاقـة كيميائيـة متاحـة فى الـ ATP . ويمكن أيضا إجمال العملية بمفهومها الموسع بالـرسم التخطيطى الوارد فى الشكل (6 ـ 7) . حيث تظهـر العلاقـات بين المجاميع الرئيسية الأربع لتفـاعلات تحلـل التسكر ودورة كـربس والفسفرة التـأكسديـة وأخيرا الأكسـدة النهـائيـة . والتخمـر كما يـلاحظ هنا فى وضعـه المناسب كتفـاعل نهـائى اضطرارى ، يسمح بمواصلة طارئة لتفـاعلات التسكـر وأحد نواتجه الثانوية ، وهو الـ ATP ضمن البروتوبلازم . والجدير بـالـملاحظـة أن جـزيئـات المـاء المضـافـة فى دورة كـربس (معادلة ـ 6) إذا مـا طرحت من النـاتج النهـائى للأكسـدة النهائية فإن الناتج يمكن أن يتلاءم مـع المعادلـة المبسطة رقم (1) التى تمثل مجمل التفاعلات .



(شكل (6 ـ 7) مخطط التنفس الهوائى، ويوضح اهم خطـوات التفاعـلات عـلى الخط المحورى، كمـا يوضـح كل من (2 ATP) و 36 ATP عـلى الخط الاعلى للطاقة المتحولة الى الـ ATP اثناء التفـاعلات . ويظهـر ان التخلص من الالكترونات الزائدة وايونات الهيدروجين فى التـأكسد النهـائى باهميـة قليلة . غير ان هذا هو قضية حياة او موت بالنسبة للعضو القائم بالتنفس.

كفاءة التنفس : Respiratory Efficiency

لو لخصنا التفاعلات التى ينتج عنها جزيئات الـ ATP فى تفاعلات التنفس الهوائى انظر شكل (6 ـ 7) لوجدناها كالاتى :

العدد الصافى الناتج عن تفاعلات التسكر هو جزيئان ، العدد الناتج من تأكسد الـ $NADH_2$ والمتكون أثناء تفاعلات التسكر هو 6 جزيئات .

العدد الناتج من تأكسد الـ $NADH_2$ والمتكون أثناء دورة كربس هو 30 جزيئا .

يصبح المجموع الكلى لجزيئات الـ ATP الممكن الحصول عليه هو 38 ، ويعتقد أنه يمثل 40 أو 60٪ من الطاقة الكلية الموجودة فى جزىء السكر الداخل فى التفاعل . وهذه الكفاءة تعتبر اكثر من جيدة عند مقارنتها مع كفاءة أحدث الماكنات الحديثة لتوليد طاقة كهربائية من الفحم . وتجدر الاشارة إلى أن الطاقة التى لا تخزن فى جزيئات الـ ATP تفقد كحرارة فى الأساس .

الهضم : Digestion

سبق ان ناقشنا طبيعة أغذية النبات والاشكال التى تخزن بها فالغذاء يخزن بهيئة غير مذابة كالنشاء والدهنيات والبروتين المخزون . كما أن الخلايا لا تستطيع الاستفادة منه بهيئته المخزونة ، لذا لا ينتقل بهذه الهيئة إلى الأجزاء الأخرى للنبات إلا بعد أن يتم تحويله إلى حالة مذابة وقابلة للانتشار وذلك بتأثير الانزيمات ، وتدعى هذه العملية بالهضم . بعد ذلك يمكن الاستفادة من هذا الغذاء بأن يتم نقله إلى الخلايا والانسجة الأخرى ، حيث يتم تمثيله أو استخدامه كمادة تنفسية . ويتشابه الهضم بشكل جوهرى فى كل من النباتات الخضراء والحيوانات ويكمن هذا التشابه فى طبيعة ونوع تأثير الانزيمات ثم فى نوعية الأغذية التى تؤثر عليها الأنزيمات وكذلك فى المواد الناتجة . ولكن الاختلاف الذى يمكن ملاحظته هو ان عملية الهضم فى الانسان وفى اغلب الحيوانات الأخرى تكون خارجية أى خارج الخلايا extracellular ، وفى معظم المناطق التى يتم فيها الهضم ، كما أنها تحدث فى أجهزة متخصصة ، حيث تتم بمساعدة الانزيمات التى يقع تأثيرها خارج الخلايا التى انتجتها . إذ يتم الهضم عند الإنسان فى الفم والمعدة وفى الامعاء الدقيقة ، حيث تفرز عليه انزيمات من خلايا متخصصة أو من غدد كالغدد اللعابية والغدد المعدية والبنكرياس . أما فى الكائنات الخضراء الذاتية التغذية autotrophic ، فعلى العكس من ذلك يحدث الهضم داخل الخلايا intracellular أى أنه يحدث داخل أى خلية حية حيثما يوجد غذاء مخزون ، وتحت تأثير الانزيمات التى تنتج بشكل رئيسى فى نفس هذه الخلايا .

والهضم الخارجى يوجد أحيانا فى النباتات الراقية كالتى تقتات على الحشرات والتى سيأتى ذكرها فيما بعد . والمثال الآخر يحدث فى بذور نباتات معينة حيث إن بعض خلاياها تنتج انزيمات تفرز خارجا لتساعد على هضم الاغذية فى الانسجة المحيطة بالبذرة . أما فى الكائنات الدنيا كالبكتريا والفطريات فيحدث الهضم على العموم خارج الخلايا . إذ تفرز الانزيمات من قبل الكائن الحى على مواد الغذاء غير الذاتية فى المحيط الخارجى .

هضم النشاء Digestion of Starch

من أكثر انواع الهضم شيوعا فى النباتات هو تحويل النشاء الى سكر ، وهذا يمكن ان يحصل بواسطة مجموعة من الانزيمات المعروفة بالاميليز Amylases وتحول هذه الانزيمات النشاء إلى دكسترين dextrine أو الى المالتوز maltose (اى سكر الشعير malt sugar) ، والجلوكوز بنسب مختلفة . ويعرف أحد هذه الاميلزات ببيتا ـ اميليز B– amylase ، الذى ينتج سكر شعير نقيا تقريبا عند تأثيره على النشاء العادى . أما اميليز اللعاب فينتج عنه خليط من سكر الشعير والجلوكوز . وهذه التحولات التى تحدث بتأثير الاميليز وانزيمات هاضمة اخرى ناتجة عن تحليل النشاء تحليلا مائيا ، وبهذه العملية ينقسم جزىء النشاء الكبير نتيجة ارتباطه بجزىء الماء إلى نوع أو أكثر من الجزيئات الأصغر . ويمكن توضيح التحلل المائى hydrolysis كما هو وارد فى (شكل 4 ـ 16) . فلو انتزعت ايونات الـ H والـ OH فإن ذلك يقود إلى ارتباط جزيئين من الجزيئات الصغيرة سوية . أما

فى التحلل المائى فإن أيونات الماء الـ H والـ OH تستعيد مواقعها مسببة انفصال الجزيئات مرة ثانية . ويكون التحليل المائى للاواصر الببتيدية Peptide bonds للبروتين أحماضا أمينية ، ويقود التحلل المائى للنشاء العادى (اميلوز) بواسطة بيتا ـ اميليز إلى تكوين سكر الشعير كما هو موضح فى المعادلة (8) .

$$\underset{\text{starch}}{2(C_6H_{10}O_5)n} + \underset{\text{water}}{n\text{-}1(H_2O)} \xrightarrow{\beta\text{-amylase}} \underset{\text{maltose}}{n(C_{12}H_{22}O_{11})} \quad (8)$$

ويتحول سكر الشعير بسرعة الى الجلوكوز بواسطة انزيم المالتيز Maltase وهو لا يتجمع عادة فى خلايا النباتات ويمكن تتبع تأثير المالتيز فى المعادلة (9) .

$$\underset{\text{maltose}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + \underset{\text{water}}{H_2O} \xrightarrow{\text{maltase}} \underset{\text{glucose}}{2C_6H_{12}O_6} \quad (9)$$

والجلوكوز كما هو مبين سابقا يعتبر من السكريات الشائعة المستخدمة فى التنفس وان هضم النشاء فى البذور المنبتة للنجيليات cereal grains ينتج عنه قنوات او أخاديد غير منتظمة على سطوح حبيبات النشاء ، ولهذا يظهر عليه التآكل . واخيرا يمكن اتمام هضم الحبيبة بالكامل .

وقد عثر على المالتوز فى البذور المنبتة ، وخاصة بذور الشعير ، وهو احد السكريات الموجودة فى مستخلص المالت (شعير منقع) كشراب من المشروبات الغازية ، والمالت الذى يتألف جزء من الشعير المنبت ، يستعمل فى عمل البيرة وفى انتاج الكحول وينتج المالت عن طريق نقع الشعير لترطيبه ومن ثم استنباته فى طبقات وتحريكه بين فترة واخرى للتأكد من تزويده بهواء كاف ومنع ارتفاع درجة الحرارة . وحالما يبدأ الانبات بشكل جديد تجفف هذه الحبوب المنبتة وتطحن لغرض الاستعمال . والتغير المهم خلال الانبات هو فى الحصول على انواع من الاميليز amylases وانزيمات اخرى، وتوقف عملية الانبات قبل أن يحدث هضم واسع . وإذا ما خلطنا مسحوق البذور المنبتة مع الماء كما هو فى عملية التخمير ، فإن النشاء مع الاغذية الاحتياطية للحبيبات سوف يهضم بسرعة بواسطة الانزيمات الموجودة . والمالت هو مصدر الانزيمات التى يستفاد منها فى هضم نشاء الحبوب الاخرى كالذرة فى حالة انتاج الكحول والويسكى whiskey حيث يمزج مسحوق بذور الذرة بعد طحنه مع مالت الشعير ويترك للهضم حيث تتكون السكريات التى يمكن ان تتخمر بواسطة الخميرة yeast .

هناك نوع آخر من الانزيمات الهاضمة للنشاء يدعى بفوسفوريليز النشاء starch phosporylase وعمل هذا الانزيم مشابه للاميليز . غير أن الفوسفور اللاعضوى يدخل هنا فى التفاعل بدلا من الماء والناتج هو مركب فوسفات الجلوكوز عالى الطاقة بالمقارنة مع الجلوكوز الاعتيادى وعملية الفسفرة هذه توجد فيها الطاقة اساسا فى جزى النشاء بدلا من استخدام طاقة الـ ATP . ومتى تم هضم النشاء الى الجلوكوز بواسطة الانزيم المركب للاميلليز ـ مالتيز amy-lase maltase فإن الطاقة التى تربط وحدات الـ C6H10O5 السوية فى جزىء النشاء تفقد على شكل حرارة،اما فى حالة هضم النشاء بواسطة فوسفوريليز فإن بعضاً من هذه الطاقة يخزن فى فوسفات الجلوكوز ، أما فوسفات الجلوكوز الذى يتكون نتيجة فسفرة النشاء فيماثل الجلوكوز المنشط الذى يتكون بواسطة الـ ATP ، حيث يوفر ناتجه طاقة ثمينة فى الـ ATP . ويمكن استخدام الجلوكوز المنشط استخداما مباشرا فى التنفس أو فى بناء مركبات خلوية عديدة كالسكروز سكر المائدة (tabe sugr) والسليولوز ونواتج اخرى .

سابقا كان يظن إن وظيفة فوسفوريليز النشاء هى بناء النشاء وكذلك هضمه . وتشير البحوث الاخيرة الى أن بناء النشاء يحدث بالدرجة الاولى بمساعدة انزيم تكوين النشاء starch synthetase ، هذا وإن كلا من انزيم الاميليز وانزيم تكوين النشاء منتشران بكثرة فى انسجة النبات . ويتكون النشاء فى النباتات الراقية فى كل من البلاستيدات النشوية الخضراء فقط وإن الانزيمات التى تساعد على تكوين النشاء وهضمه يفترض انها ماجودة ضمن البلاستيدات .

هضم المواد الكربوهيدراتية الأخرى : Digestion of Other Carbohydrates.

يمكن تصنيف السكريات إلى السكريات البسيطة كالجلوكوز والفركتوز والجالكتوز galactose والريبوز

والى السكريات المركبة المالتوز maltose والسكروز sucrose والرفينوز raffinose وسكريات اخرى يمكن ان تتحلل تحللا مائيا الى اثنين او اكثر من السكريات البسيطة ، يوجد الفركتوز فى ثمار الفاكهة ولذلك يدعى ايضا بسكر الفاكهة وله نفس التركيب الكيميائي الرمزى للجلوكوز ولكنه يختلف عنه فى ترتيب الذرات (شكل: 5 ـ 12). ويوجد الرايبوز فى الـ RNA والـ ATP ويمكن ان يتحلل السكروز مائيا بواسطة انزيم السكريز sucrsae (يدعى ايضا انفرتيز invertase)إلى سكريات بسيطة كالجلوكوز والفركتوز كما هو موضح فى المعادلة (10) .

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow{\text{sucrase}} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6 \quad (10)$$

sucrose water glucose fructose

والمالتوز كما يلاحظ من المعادلة 9، يتحلل مائيا الى جزيئين من الجلوكوز ويوجد الرافينوز بتركيز متحفز فى بنجر السكر ويكون الجلوكوز والفركتوز والجالكتوز ويعتبر السكروز كما سبق ملاحظته الشكل الرئيسى للكربوهيدرات المتداولة ضمن النباتات، وهو موجود ايضا بنسبة ايضا بنسبة عالية فى قصب السكر والبنجر السكرى والابصال وفى انسجة عديد من النباتات التى تمر خلال فصل الشتاء بفترة سبات . هناك عدد من السكريات الاخرى توجد حرة او فى مركبات فى النبات .

يتم هضم السليولوز بواسطة انزيم السيليولز Cellulase حيث يتحول السليولوز الى جلوكوز ، وهذا الانزيم شبيه فى صفاته سليوليز الفطر fungal cellulse حيث يوجد بتركيز منخفض للغاية فى اوراق الفاصوليا وفى اوراق وجذور التبغ وفى عدد قليل من النباتات الاخرى والظاهر انه يوجد بشكل رئيسى فى الخلايا الصغيرة النامية .

وعند معرفة نشاط انزيم السليوليز يتبين ان انزيمات النبات يمكن ان تكون قوية فى تأثيرها وفعالة ، كانزيمات بعض الحيوانات كالبوم والثعابين التى تبتلع فريستها كاملة بفعل السليوليز وبعض الانزيمات الاخرى والفطر الذى هو على شكل شظايا (شبيهة بالخيوط) يمكن ان يتم هضم جدران خلايا حتى اكثر الاخشاب صلابة اما البكتريا الهاضمة للسليولوز Cellulose — digesting bacteria والفطر المنتشر عموما فى جميع الامكنة فتقوم بوظيفة غاية فى الاهمية ، وذلك بتفسخها وتجزئتها بقايا النباتات .

وانزيم السليوليز ينتج ايضا بواسطة مجموعة صغيرة من الحيوانات كالحشرات الآكلة للاخشاب wood — eating insects وديدان السفن والاخيرة بالاضافة الى الرخويات (كالمحار والحلزون) تحصل على الكاربوهيدرات عن طريق احداث ثقوب داخل خشب السفينة او ارصفة المرفأ ودعائمها او اخشاب اخرى مغمورة بالماء منذ ان بدأ الانسان فى الابحار لاول مرة كانت هذه الرخويات mollusks سببا رئيسيا فى تدمير السفن . اما النمل الابيض termites الذى يعيش ايضا على الاخشاب فهو لاينتج سيليوليز ولكن يعتمد على الكائنات الدقيقة (الوحيدة الخلية) -microorgan ism (protozoans) الموجودة فى قناتها الهضمية لانتاج هذا الانزيم .

ولايوجد السيليوليز فى الثدييات mammals التى تشمل الانسان ايضا والحيوانات المجترة كالابقار والماعز والخراف تتمكن من هضم الاعشاب والقش (الدريس) واعشاب المراعى بسبب نشاطات البكتريا الهاضمة للسليولوز التى تعيش فى القنوات الهضمية لهذه الحيوانات . وهكذا يستفيد الانسان بصورة غير مباشرة من السليولوز عندما يتغذى بقطعة لحم طرية .

ان معدل تفاعل الانزيمات الهاضمة للكربوهيدرات مثله مثل غيرها من الانواع الاخرى من الانزيمات يزداد بارتفاع درجة الحرارة ولذلك فيمكن توقع ان درجات الحرارة المنخفضة تعيق او تحول دون هضم النشا، ولكن فى العديد من النباتات يتحول النشاء الى سكر فى درجات تقارب التجمد، فمثلا عند خزن درنات البطاطس لعدة اسابيع فى درجة حرارة تحت 5مْ (41 فْ) يتحول معظم النشا الى جلوكوز فعند طبخ مثل هذه البطاطا يكون قوامها مشبعا بالماء وربما تقف حلاوتها حائلاً دون تذوقها ولهذا فان شرائح البطاطس المقلية potato chips المعدة من مثل هذه البطاطس تكون سمراء داكنة فى لونها، ويمكن ان يكون مذاقها محروقاً لاحتراق السكر (تكرمل) carmeli ed عند قليها فى الزيت الساخن، ولايتحتم الاستغناء عن البطاطس التى تصبح حلوة لانها اذا وضعت فى درجة حرارة الغرفة 20 ـ 25 مْ (68 ـ 77 ف°) يتحول السكر مرة ثانية الى نشاء، وبذلك نتمكن من استعادة مذاقها الطبيعى. كذلك يتغير الجزر الابيض parsnip عند تعرضه الى درجة حرارة منخفضة ايضاً مثله مثل البطاطس ومع ملاحظة ان زيادة نسبة السكر فيه تكون مرغوبة، لذا يمكن ترك جذوره فى التربة خلال الخريف حتى فترة التجميد ، او ان تجمع فى الخريف وتترك حتى حلول الطقس المتجمد، او ان تجمع وتخزن فى درجة حرارة 1م (34 ف°) ويرجع سبب تحسين مذاقه عند طبخه الى تحول النشاء الى سكروز .

هضم الدهنيات Digestion of Lipids

تتحل الدهنيات فى النباتات بواسطة انزيم اللايبيز Lipase وذلك بتكوين الجلسيرول (الجلسرين) glycerol (glycerine) واحماض دهنية . ويتحول الجلسيرول فى الحال الى سكر ومركبات اخرى يمكن ان تستخدم فى عملية التنفس او فى عمليات اخرى. وقد درس بشكل مفصل مدى الانتفاع من الاحماض الدهنية فى الحيوانات وخاصة التفاعلات التى تحدث ميتكوندريا الكبد والتى تقود الى اعطاء طاقة مفيدة بالاضافة الى جزئيات اصغر اما تفاصيل الاستفادة من

الاحماض الدهنية فى النباتات فلا تزال غير معروفة بصورة كاملة حتى الآن . وتشير التجارب الى ان المحتوى الزيتى للبذور الزيتية يقل خلال عملية الانبات، بينما يرتفع المحتوى السكرى .

ويظهر ان الاحماض الدهنية يمكن ان تستخدم داخل الخلايا التى تنتجها ولكن فى حالة انتقالها الى انسجة اخرى فانها تتحول اولا الى سكر .

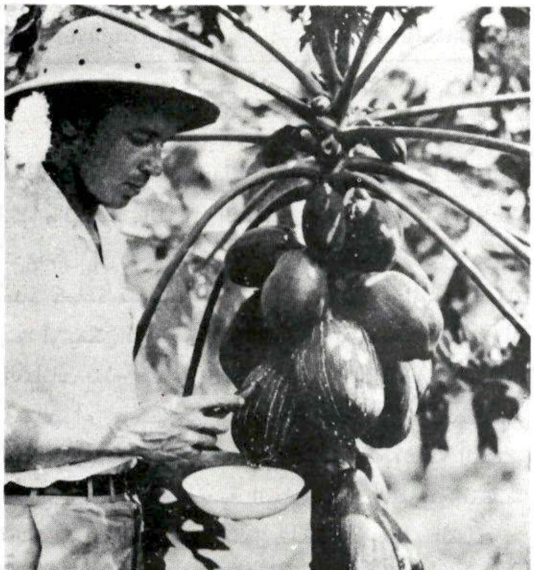
يزيد المحتوى الطاقى للدهنيات عن ضعف المحتوى الطاقى لكمية مماثلة من السكر ولذلك فان الدهنيات تعتبر مخزونا غذائيا مركزا . كما انها تشغل حيزا صغيرا عند خزنها ، بالاضافة الى انها تمد النبات ومستهلكى الناتج النباتى بمردود عال من الطاقة

هضم البروتينات: Digestion of Proteins

تتحل البروتينات الى الاحماض الامينية بواسطة مجموعة من الانزيمات تعرف بالبروتيز protease ويتم تحويل البروتينات الى الاحماض الامينية عبر عدة مراحل، تتكون خلالها نواتج وسطية تتمكن بعض الانزيمات من تحويل كل للمادة البروتينية. وهناك انزيمات اخرى تؤثر فقط فى جزء من عملية التحويل هذه، وقد توجد بعض البروتيز فى النبات بينما لاتتواجد فى الحيوان والعكس بالعكس ولكنها تكون متشابهة بصورة عامة .

يمكن الكشف بسهولة عن البروتين فى البذور المنبتة والاوراق الخضراء وفى ثمار الفاكهة والابصال والجذور ويمثل البروميلين Bromelain والبابين papain ابرز انزيمات البروتيز فى النبات واهمها ، فالبروميلين الذى هو واحد مكونات عصارة الاناناس يستطيع فى الظروف التجريبية هضم الديدان الحلقية roundworms المتطفلة التى تعيش فى الامعاء ويصبح الانزيم غير فعال أو يفقد تأثيره القوى فى جسم الحيوان ، لذا لايستعمل فى الطب ، فلو استعملنا الاناناس الطازج فى عمل الجيلاتين والسلاطة أو الحلوى فإن الجيلاتين مثلا سيفقد قوامه الثابت ويصبح شبه سائل نتيجة لهضمه على مايظهر بتأثير البروميلين الموجود فى الاناناس . لقد تم اكتشاف أن جذور نبات الاناناس تعتبر أفضل مصدر من الناحية الاقتصادية لتحضيرات البروتيز proteaseتجاريا .

البابين papain هو الاسم التجارى المستعمل للعصارة المجففة والنقية او للعصارة الحليبية للثمار غير الناضجة لاشجار البابيا papaya. وهى أشجار صغيرة استوائية أو شبه استوائية (شكل 6ـ8). أما ثماره الناضجة فانها تؤكل كالشمام . والبابين يحتوى على عدد من الانزيمات أكثرها شهرة هو الذى يملك قوة هضم كبيرة للبروتين، ويدعى ايضا بالبابين papain. وللانزيم عدد من الاستعمالات جميعها تعتمد على مقدرته على هضم البروتين، ويستعمل فى الطب والجراحة Surgery، ويستخدم بشكل واسع فى صناعة التخمير لهضم البروتيزات والتى يمكن ان تترسب عند تبريد البيرة . ويستعمل فى صناعة الدباغة وفى انتاج اللبان chewing gum. أكثر البابين المستورد يستخدم فى جعل اللحوم سهلة الهضم وطرية ، اذ يضاف الى اللحم قبل طبخه حيث يقوم بهضم نصفى للأنسجة الرابطة وللألياف العضلات. وهكذا فالقطعة القوية من اللحم تتحول الى قطعة سهلة الهضم غير قوية.



شكل (6 ـ 8)جمع العصارة من ثمار البابايا papaya fruit تخدش الثمار غير الناضجة بحد قاطع، وتنساب العصارة من الخدوش يستخلص انزيم البابابين papain من العصارة.

ملخص عن الانزيمات الهاضمة Summary of Digestive Enzymes يؤثر الانزيم الذى يمثل مادة مساعدة على مركب مايدعى بمادة التفاعل (الاساسى) Substrate ويتحدد اسم الانزيم مع بعض الشواذ من اسم المادة التى يقع عليها تأثير الانزيم مع اضافة مقطع «ase» (ايز) الى آخر اللفظة.

جدول (6ـ2)

بعض الانزيمات وتاثيرها

الانزيم	الناتج
بيتا ـ اميليز B – Amylase	مالتوز maltose
النشاء Starch Phosphorylase فوسفوريليز النشاء	فوسفات الجلوكوز
مالتوز Maltase (مالتيز)	جلوكوز
سكروز Sucrase سكريز	جلوكوز فركتوز
سليلوز Cellulase سليلوليز	جلوكوز
الدهنيات Lipase لاييز	احماض دهنية وجلسرين
بروتينات proteases بروتيز	نواتج وسطية واحماض امينية

غذاء النبات: Plant Food على ضوء معرفتنا عن البناء الضوئى والهضم والتحول الغذائى النباتى عموما، إن أغذية النبات يمكن أن تحدد بالمركبات العضوية والتى يمكن أن تستخدم كمادة تنفسية لانتاج الطاقة اثناء او بعد عملية الهضم، أو يمكن أن تستخدم فى تكوين الأنسجة . وكما رأينا فإن النباتات تنتج غذاءها الخاص من مواد أولية مشتقة من التربة والهواء. ورغما من هذا يطلق الفلاحون والبستانيون ومنتجو الأسمدة على الاسمدة غير العضوية أغذية النبات . إن استخدام مصطلح أغذية النبات بهذه الطريقة يتضمن وجهة النظر الخاطئة التى تقول باختلاف غذاء النبات عن غذاء الحيوان، بينما نجد ان اغذية النبات والحيوان واحدة فى واقع الامر ونعنى بذلك البروتينات والكربوهيدرات والدهون ومشتقاتها. أما الماء وثانى اوكسيد الكربون والاملاح غير العضوية فلاتصنف كغذاء للنبات مع أنها تستخدم بواسطة النباتات فى صنع الغذاء.

النباتات الزهرية التى تقتات على الحشرات: Carnivorous Flowering Plants لقد استحوذت النباتات الزهرية التى تقتات على الحشرات على انتباه الكثيرين ولفترة طويلة ، وهناك حوالى 500 نوع معروف مصنفة فى ست عائلات منفصلة. وهذا العدد المعتبر من النباتات موجود فى امريكا الشمالية . وتعتمد هذه النباتات على اصطياد الحشرات وبعض الحيوانات الصغيرة ومن ثم تهضم أنسجة الحيوان بواسطة انزيم البروتيز proteases وأنزيمات اخرى غيرها تفرزها النباتات. وتعتبر عملية الهضم هذه خارجية اى تحدث خارج الخلية عكس ما هو مألوف فى النباتات الخضراء حيث تكون عملية الهضم داخلية تحدث داخل الخلايا.

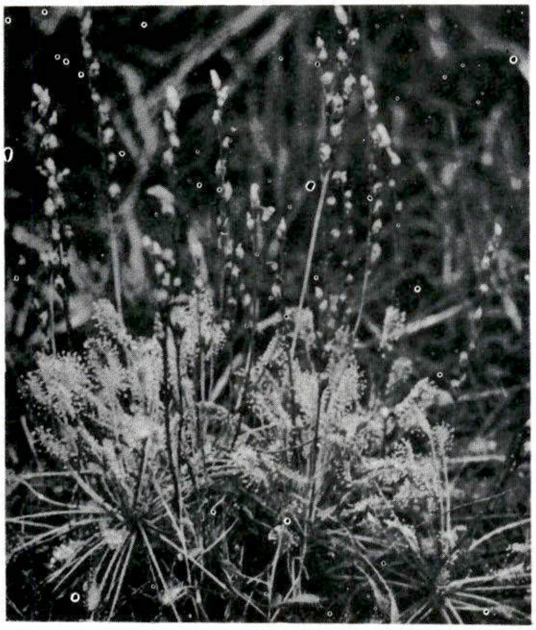
بعض هذه النباتات التى تقتات على الحشرات مائية والبعض الآخر هوائية تنمو على نباتات اخرى. وهناك مجموعة اخرى برية terrestrial تنمو فى الترب الرملية أو السبخة . وتوجد آليات مختلفة يتم بواسطتها اصطياد الحيوانات، وفيما يلى وصف لعدد من هذه النباتات الاكثر شيوعا والمعروفة جيدا.

نباتات الجرة: Pitcher Plants أوراقها المحورة نمطية كما هى الحال فى جميع النباتات التى تقتات على الحشرات . والاوراق فى نباتات الجرة تكون انبوبية ابريقية الشكل، حافتها العليا الأكثر تحورا تكون كالشفاه (شكل 6ـ9) أو تشبه فى بعض الانواع قبعة الرأس. والأوراق متجمعة على ساق قصيرة، وربما يصل ارتفاع الاوراق الى 3 أقدام او اكثر فى بعض الانواع. وتوجد عدة مناطق فى فوهة الورقة الانبوبية تكثر فيها الشعيرات المتجهة الى الاسفل وعلى طول الجانب الداخلى، تمنع أو تعيق هروب الحشرات التى تسقط فى تجويف الورقة. ومن ثم تقوم غدد موجودة داخل الانبوب بالقرب من قاعدة الورقة بافراز انزيمات هاضمة . هذا وان المساحة الكبيرة للسطح الداخلى للورقة تمكن من امتصاص نواتج الهضم. وتتكون زهرة واحدة فى نهاية سويق طويلة.

الدروسيرة (الندية): Sundews تملك نباتات الجرة التى تقتات على الحشرات آلية غير فعالة كثيرا فى الصيد. أما الدروسيرة وبعض النباتات الاخرى التى تقتات على

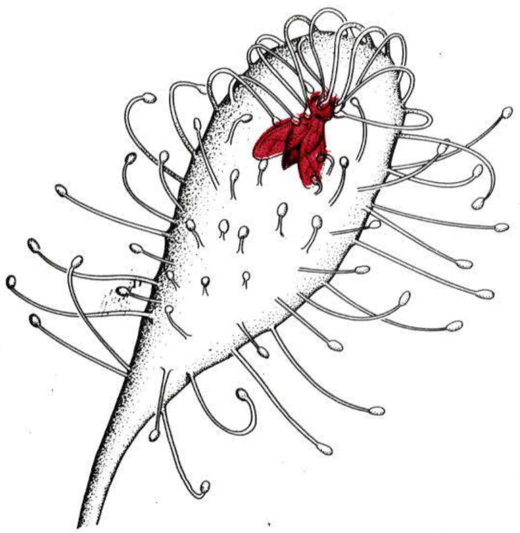


شكل (6 ـ 9) نبات الجرة pitcher plant (Sarracenia purpurea)

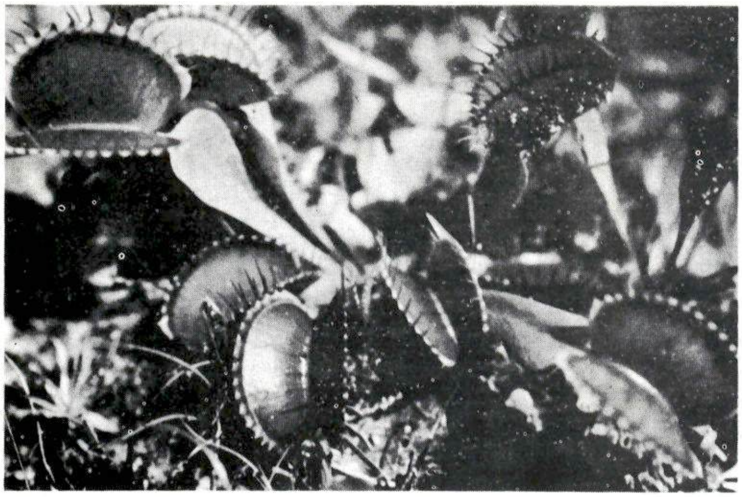


شكل (6 ـ 10) نبات الندية (دروسيرة) Sundew (Drosera intermedia)
احد النباتات آكلة اللحوم carnivorous plant

الحشرات فإنها أكثر فعالية فى إيقاع فريستها فى الشرك . ان النوع الامريكى من الدروسيرة تكون نباتات صغيرة تنمو فى المناطق الرطبة (شكل 6ـ10) وتحمل سيقانها الطويلة أزهارا بيضاء صغيرة ترتفع من الاوراق الوردية الشكل، ويختلف نصل الورقة من حيث الشكل. فيمكن أن يكون رفيعا اسطوانيا كالخيط ومتسعا بعض الشىء (شكل 6ـ11) وغالبا مايكون دائريا، مع عديد من الغدد المحمولة على سويقات او مجسات على السطح العلوى والحواف . وتحتوى كل غدة على قطرة كبيرة من عصارة لزجة تتلألأ فى ضوء الشمس حيث تعطى النبات اسمه الشائع. لذا تجتذب القطرات اللزجة الحشرات وتقبض عليها، وتحوى هذه القطرات على انزيمات هاضمة. كما يحفز وجود الحشرة المجسات الاخرى بالانثناء نحوها، وبذلك تقع الفريسة فى المصيدة . اما اذا ماكان المنبه او الحافز كبيرا ففى هذه الحالة يمكن حتى للورقة أن تنطوى حول فريستها. ويظهر ان انثناء المجسات على الفريسة ناتج عن اختلاف فى نمو المجسة من الجهة المعاكسة للفريسة عن الجهة الاخرى . هذا وان استجابة المجسات بطيئة، حيث تحتاج لعدة ساعات لاتمام حركة الانثناء.



شكل (6 ـ 11) ورقة من اوراق نبات الندية. تحمل مجسات tentaclas تنحنى محيطة بالحشرة السجينة.

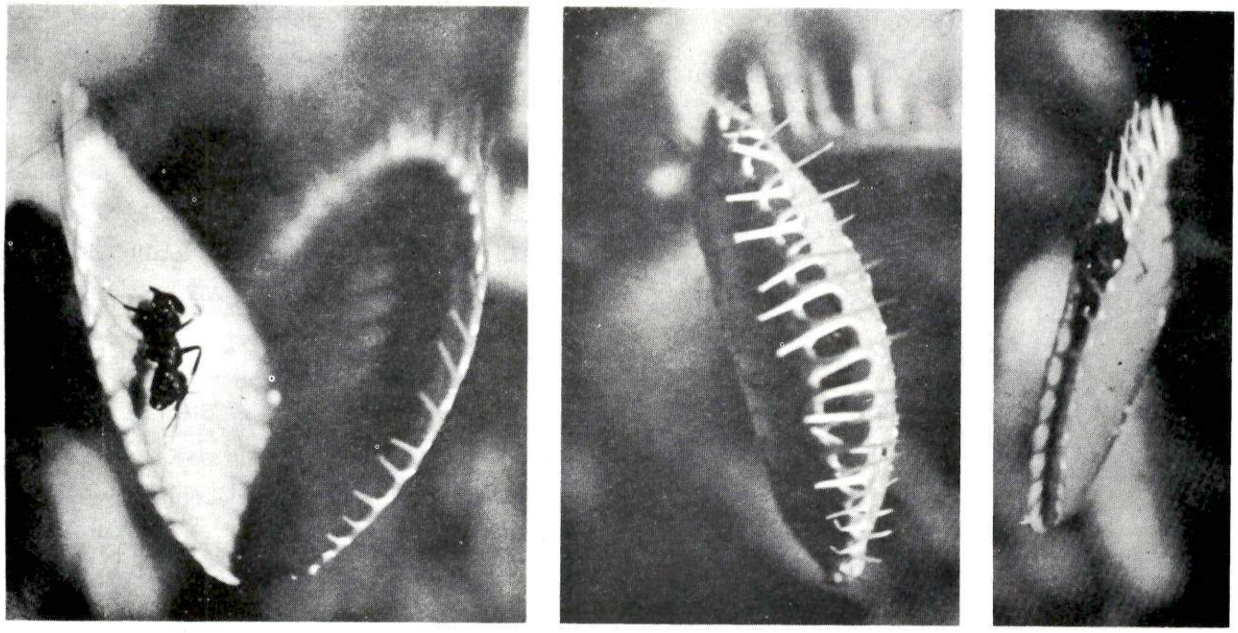


شكـل (6 ـ 12)

مصيدة الـزهرة للـذباب venus 's – flytrap (Dionaea muscipula) بين الورقة ذات النصلين وسويقاتها الممتدة.

شكـل (6 ـ 13) مصيدة الـزهرة للـذباب Venus 's – flytrap (اليســار) حطت حشرة على سطح نصل الورقة الحساس. (الوسط) انغلق فصا الورقة وتعاكست اسنانهما مانعة بذلك هروب الحشرة.

(اليمين) مرحلة متأخرة انضغط الفصان باحكام..



مصيدة الزهرة للذباب: Venus's-Flytrap إن آلية مصيدة الزهرة للذباب تعتبر أكثر نشاطا من الدروسيرة، التى لها صلة بها. فالنبات يتألف من أورق تترتب بشكل وردى، وتختلف فى ارتفاعها من 5 الى 15 سم (شكل: 6ـ12) وترتفع ساق طويلة من قاعدة الاوراق حاملة عنقودا من الازهار فى نهايتها، والورقة تتألف من قسمين: سويق عريض موسع ونصلين مفصصان يرتبطان بمفصل أسفل منتصفهما. والنصل هو آلية الشرك، ومن حافة الورقة ينمو صف من الشعيرات الطويلة والصلبة كالاسنان. اما السطح العلوى من النصل فيحمل شعيرات حساسة تحتوى مع الغدد على صبغة حمراء. وبعض هذه الغدد تكون هاضمة والاخرى تجذب الحشرات بافرازها عصارة سكرية.

فلو أن هذه الشعيرات الحساسة مستها حشرة زاحفة على النصل ينطبق عليها الفصان بسرعة وفى بعض الاحيان فى أقل من ثانية حيث تتشابك أسنان حافتى النصل مشكلة قفصا يمنع هروب الحيوان (شكل 6ـ13). هذه الحركة السريعة تتبعها حركة بطيئة تستغرق عدة ساعات حيث يحكم غلقها جيدا ويؤدى فى النهاية الى تقارب السفوح العلوية كثيرا. ومن ثم يجرى هضم الحشرة ويتم امتصاص نواتج عملية الهضم. وبعد عدة ايام تنفتح الورقة مرة ثانية لتقتنص فريسة اخرى وهكذا. إن آلية الحركة فى اصطياد الفريسة لم تفسر بشكل واف الى الآن. وهذا النبات يوجد فى شمال وجنوب كارولينا Carolina ولكنه غالبا مايزرع فى البيوت الزجاجية greenhouses.

للنباتات التى تقتات على الحشرات نظام جذرى غير متطور نوعا ما، وتنمو عادة فى الترب التى تفتقر للنتروجين. وتعوض نقص هذا العنصر وعناصر اخرى بواسطة غذائها الذى يتكون من الحيوانات. وهذه احدى المزايا المباشرة للنبات، ومن الناحية الاخرى فهذه النباتات مزودة بالكلوروفيل، وعليه فإنها تستطيع أن تكون أزهارا وبذورا حتى اذا حرمت من غذئها الحيوانى، بالرغم من أن نموها يزداد فى حالة توفر مثل هذا الغذاء وعليه فإن هذه النباتات تستفيد من اقتياتها على الحشرات ولكنها يمكنها البقاء حتى بدونها. إن هذه النباتات التى تقتات على الحشرات تكون مجموعة غريبة ومهمة تحورت أوراقها بما يؤدى للاستفادة منها فى حصول النبات على بعض غذائه. ومن المحتمل أن تكون هذه التحورات هى الاساس الذى قامت عليه الاقاصيص حول النباتات آكلة لحوم البشر والتى ظهرت فى المطبوعات وربما لايحتاج الامر للبرهنة على عدم صحة هذه المزاعم، فلم يكتشف من هذه الاشجار شىء حتى الآن.

الخلاصة : Summary

1 ـ ان التنفس عملية داخلية تحدث داخل الخلية وبواسطتها يتأكسد الغذاء حيث يتم استخراج الطاقة وهذه الطاقة يتحرر قسم منها على شكل حرارة والقسم الآخر يخزن فى الـ ATP على شكل طاقة كيميائية حيث تستخدم من قبل الخلية عند قيامها بنشاط معين.

2 ـ يمكن اثبات حدوث التنفس عن طريق قياس كمية ثانى اكسيد الكربون المتحرر او الفقد فى الوزن الجاف (فى الظلام) او فى ارتفاع درجة الحرارة.

3 ـ التنفس من العمليات الضرورية التى يجب ان تحدث فى جميع الخلايا الحية والنشطة لكل من النبات والحيوان. اما عملية الشهيق والزفير فهى عملية ميكانيكية تساعد على تبادل الغازات، وربما تصاحبها عملية التنفس. يتنفس كل من النبات والحيوان، كما أن بعض الحيوانات تحدث التبادل الغازى بواسطة الشهيق والزفير.

4 ـ تحت ظروف خاصة يمكن ان يكون هناك توازن تام بين التنفس والبناء الضوئى. هذا مع العلم بان كمية الغذاء المصنوع بواسطة البناء الضوئى تتجاوز اعتياديا الكمية التى تستخدم فى التنفس خلال النهار والليل ويتيح هذا الفرصة لحدوث تمثيل الغذاء والنمو وتجميع الغذاء وتخزينه.

5 ـ خلال فترة 24 ساعة تكون كمية الاوكسجين التى تغادر النبات الاخضر اكثر من التى تدخل اليه، كما تكون كمية ثانى اوكسيد الكربون التى تنتشر داخله اكثر من التى يفقدها. وتفسير ذلك يكون بالرجوع الى معدل نسبة البناء الضوئى والتنفس،

6 ـ لايؤثر تنفس النبات تأثيرا ذا بال على محتوى الصوبات الزجاجية من ثانى اكسيد الكربون ولا على صحة النائمين فى غرف النوم ليلا.

7 ـ تفقد الخضروات المجنية وكذلك الفاكهة قيمتها وطزاجتها بسبب تنفسها، وكذلك بفعل الكائنات الدقيقة التى تعمل على تفسخها . ويزيد معدل هذه العملية بارتفاع درجة الحرارة وتاثيرها يكمن فى الاسراع بعمليات التنفس وفعالية الانزيمات الاخرى.

8 ـ خلال عملية التنفس يتجمع جزء من طاقة السكريات وغيرها من المركبات العضوية من مركبات فوسفاتية عالية الطاقة ومن اهمها الـ ATP. وما الاخير الا مركب حامل الطاقة يجمع الطاقة الناتجة من تفاعلاتها ويحولها الى طاقة مفيدة تستخدم فى التفاعلات التى تدخل الطاقة فيها.

9 ـ تبدأ تفاعلات التنفس فى العادة بالتحلل السكرى، التى تتحول فيها السكريات الى الحامض البيروفى، ويصاحب ذلك تكون مقدار قليل من الطاقة المفيدة فى الـ A T P. ويحدث التحلل السكرى سواء فى حضور الاوكسجين ام فى غيابه ولكنه لايستخدمه . والاكسدة عن طريق انتزاع الهيدروجين تحدث اثناء التحلل السكرى وهى اساس تحول الطاقة . ويؤخذ الهيدروجين بواسطة جزيئات مستلمة للهيدروجين هى NAD.

10 ـ يمكن تقسيم انواع التنفس الى ثلاثة انواع انطلاقا من طريقة التخلص من الهيدروجين اثناء عملية اكسدة السكر والانواع هى عملية التخمر والتنفس الهوائى والتنفس اللاهوائى.

11 ـ فى عملية التخمر يتم اتحاد الهيدروجين المنتزع اثناء عملية تحليل السكر، يتم اتحاده مع الحامض البيروفى مكونا حامض اللبنيك والكحول وغير ذلك من النواتج. ولايوجد ناتج اخر من الطاقة اثناء عملية التخمير اكثر مما ينتج فى تحليل السكر.

12 ـ فى عملية التنفس اللاهوائى يتحد الهيدروجين الناتج عن عملية التحلل السكرى مع الاوكسجين المحيط الموجود فى المركبات الغير عضوية مثل SO_4 وثانى اكسيد الكربون وكما ينتج مقدار اضافى من الطاقة.

13 ـ فى عملية التنفس الهوائى يمر الهيدروجين من خلال تفاعلات الفسفرة التأكسيدية حيث تتكون جزيئات الـ A T P بكميات كبيرة نسبيا، ومن ثم يتحد مع الاوكسجين مكونا الماء.

14 ـ فى عملية التنفس الهوائى ربما يتأكسد الحامض البيروفى جنبا الى جنب مع الـ $NADH_2$ المتكون اثناء عملية تحليل السكر متيحا المجال امام استغلال اغلب طاقته . ان الانتفاع بطاقة الحامض البيروفى يبدأ مع دورة كربس، حيث يضاف الماء، وحيث ينفصل الهيدروجين وثانى اوكسيد الكربون، حتى تتم اكسدة الحامض البيروفى الى ثانى اوكسيد الكربون وكذلك الهيدروجين المتحد مع الـ $NADH_2$

15 ـ ان مركب الـ $NADH_2$ الناتج من دورة كربس جنبا الى جنب مع المقدار الناتج من عملية تحلل السكر يمر عبر عملية الفسفرة التأكسدية ومن ثم يتكون 36 جزيئا من الـ A T P لكل جزيء من الجلوكوز بالمقارنة مع جزيئين من الـ A T P تنتج عن كل عملية تحلل السكر والتخمر.

16ـ كمرحلة نهائية فى عملية التنفس الهوائى يتحد الهيدروجين مع الكتروناته المتبقية من عملية الفسفرة التأكسيدية مع الاوكسجين مكونا الماء.

17ـ ان غذاء النبات هو من السكريات والنشاء والبروتينات والدهنيات (الدهون او الزيوت) ، اى تلك الاغذية التى يحتاجها الحيوان ايضا ووجه الخلاف يكمن فى ان النباتات الخضراء تنتج غذاءها بنفسها.

18 ـ لايختلف هضم النبات لغذائه عن هضم الحيوان للغذاء ففى كليهما تستخدم الانزيمات فى الهضم وتنتج من الهضم نواتجه، وتتم عملية الهضم فى النباتات الخضراء داخل خلاياها على حين ان عملية الهضم تتم عند الحيوان، وكذلك فى البكتريا والفطريات، خارج الخلايا.

19 ـ هناك عدد من النباتات تسمى بالنباتات آكلة الحشرات، تتحصل على الاحماض الامينية وغيرها من الاغذية عن طريق ايقاع الحيوانات الصغيرة ومنها الحشرات اساسا فى الشرك وهضمها.

تركيب ونمو السيقان
The Structure and Growth of Stems


7

تركيب ونمو السيقان
The Structure and Growth of Stems

عاجلا ام آجلا سيجد الطالب نفسه عند دراسته لمقرر النبات العام اكثر اهتماما بتفاصيل تركيب ووظيفة النبات ، الامر الذى يمكن ان يبعده عن طبيعة نمو النبات ككل . إن هذه الظاهرة ليست مقصورة فقط على النبات ، ولكن نجدها ايضا عند دراستنا لعلم الحيوان . ويعزى السبب فى ذلك الى التركيب المعقد لجسم النباتات الراقية والحيوانات . ان محصلة التغير الذى حصل خلال فترة طويلة جدا من الزمن ، عملت على جعل هذه الاجسام متشكلة من انواع عديدة من الخلايا تتجمع مع بعضها فى مجموعات وبطرق مختلفة . ان هذا التغاير الكبير الحاصل ، من كل كائن حى ، وضمن مجاميع الكائنات الحية هو الذى يركز عليه علماء النبات والحيوان انتباههم فى الوقت الحاضر . ولكن الطالب الذى يبدى اهتماما بتفاصيل تركيب النبات يصبح من السهولة عليه ملاحظة الجزء الذى يلعب دورا هاما فى حياة النبات ونموه .

عند دراسة تركيب الساق ، قد تكون التفصيلات اكثر اغراء . وعند قيامنا بدراسة اولية استكشافية عن طريق استخدام المجهر ـ نجد ان الانسجة الناقلة فى الساق مثلا هى جزء من نفس نظام الانسجة الموجودة ايضا فى الجذور والاوراق . كما ان الانسجة الوعائية (الخشب واللحاء) تربط النبات ككل كوحدة واحدة . هناك انواع اخرى عديدة من الانسجة الشائعة فى الجذر والساق والورقة ، حيث ان وظائفها فى حياة النبات تكون متشابهة كثيرا اينما وجدت . لقد سبق ان ناقشنا خلايا وانسجة الورقة . وبدون ادنى شك فإن معرفتنا للساق هى اكثر بكثير من معرفتنا للجذور الارضية . و سوف يتم التعرف ومناقشة الساق فى هذا الفصل ، اما الجذر فسوف يترك للفصل القادم .

بعض الصفات العامة لتركيب الساق : Some General Features of Stem Structure

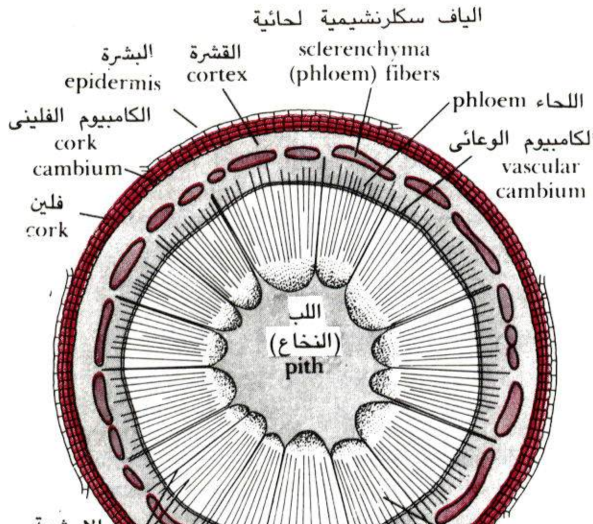
تختلف السيقان من حيث شكلها فالبعض منها رقيقة او اسفنجية او ضعيفة كما هو فى النباتات المائية ، والبعض الآخر كأشجار الغابات لها جذوع شاهقة وضخمة حيث يصل ارتفاع هذه الاشجار الى 300 قدم . بالاضافة الى انها تختلف كثيرا من حيث نوعية انسجتها الداخلية او من حيث

ترتيب الخلايا التى تتألف منها . ولكنها مع ذلك تملك ايضا صفات مشتركة . حيث تظهرالسيقان الصنوبرية وكذلك السيقان الخشبية لذوات الفلقتين والسيقان العشبية ، العديد من الصفات المتشابهة من حيث ترتيب انسجتها . ففى سيقان النباتات الخشبية يكون الترتيب والتنظيم واضحا نسبيا ، وان النمو الطولى والقطرى يمكن ملاحظته بسهولة فيها . كما ان ميكانيكية الزيادة الحاصلة فى اطوال النباتات الوعائية كلها تكون متشابهة الى حد ما ، وهناك تشابهات جوهرية فى نوع الانسجة ذات العلاقة بالخزن والدعم والنقل .

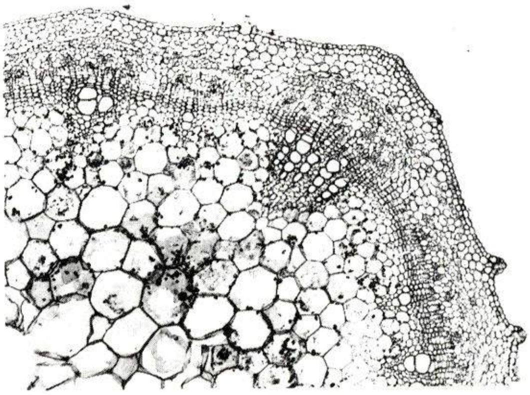
ان الانسجة الداخلية للساق يمكن دراستها عن طريق اخذ مقطع عرضى لغصن خشبى من ذوات الفلقتين (شكل : 7ـ1) وفى هذا الشكل يتبين الترتيب الدائرى للانسجة الوعائية (الخشب Xylem واللحاء Phloem) الواقعة بين منطقة اللب (النخاع) Pith والقشرة Cortex . اما منظر الانسجة الوعائية فى المقطع الطولى فتظهر بالطبع على شكل اسطوانة . وهذا هو الشكل العام لترتيب الانسجة الموجودة فى سيقان المخروطيات والنباتات الزهرية ، ويستثنى من ذلك ذوات الفلقة الواحدة .

تتألف انسجة الاسطوانة الوعائية من خلايا طويلة عمودية . ويوجد الكمبيوم Cambium الذى يقع بين الخشب واللحاء الذى هو عبارةعن خلايا رقيقة ، تنقسم على نفسها وتكون المسئولة عن الزيادة فى قطر الساق . لاترى هذه الخلايا بالعين المجردة ولكنها ضرورية لنمو النبات وحياته ، كما توجد بعض انواع من الخلايا الموجودة فى الخشب واللحاء سبق التعرض لها بالشرح . ان وظيفة الخشب هى توصيل الماء والاملاح المذابة من الجذور الى الاجزاء العليا للنبات . كما يلعب الخشب دورا مهما فى عملية الدعم الميكانيكى لجذع الشجرة وفروعها وسيقان النباتات العشبية . اما اللحاء فإنه يقوم بتوصيل الغذاء المصنوع فى الاوراق ونقله الى الاجزاء السفلى من النبات ، او الى الاعلى لتزويد البراعم غير المتفتحة والثمار ايضا . توجد ايضا الاشعة الوعائية Vascular rays ، وهى عبارة عن حزم من الخلايا تمتد افقيا خلال كل من الخشب واللحاء ، مهمتهما خزن الغذاء وايصاله هو والماء جانبيا .

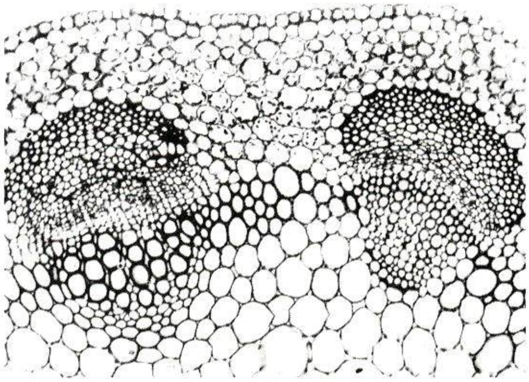
اما اذا استبدل فحص الساق الخشبى بساق عشبى من ذوات الفلقتين بنفس الطريقة السابقة فاننا نلاحظ بعض الاختلافات ، من اهمها طول الفترة التى يؤدى الكمبيوم فيها وظيفته بالنسبة الى سيقان النباتات العشبية التى تعيش لفترة قصيرة . ويلاحظ فى العديد من هذه النباتات ان الحزم الوعائية تظهر مرتبة على شكل حلقة وذلك من خلال فحص مقطع عرضى لها (شكل 7ـ2 ، 7ـ3) كما انها تظهر على شكل اسطوانة عند فحص مقطع طولى لها (شكل 7ـ4) والكامبيوم ينتج خشبا اضافيا ولحاء ايضا وبذلك تتوسع الحزم الوعائية ، ويمكن فى هذه الحالة ان تترابط مكونة حلقة كاملة من النسيج الوعائى . وتتكون مثل هذه الحلقة فى النباتات الخشبية بسرعة ولكن مع ذلك فإن الخشب الاصلى للحزم يمكن تحديدموقعه الى الداخل فى الاسطوانة على حدود منطقة اللب (شكل 7ـ1) وفى الاغصان الصغيرة يمكن ملاحظة اللحاء الاولى على حافة الاسطوانة من الخارج .



شكل (7 ـ 1) رسم يبين اهم الانسجة فى ساق خشبية لنبات فتى من ذوات الفلقتين



شكل (7 ـ 2) قطاع عرضى فى جزء من ساق لنبات فول الصويا soybean (Glycine max)



شكل (7 ـ 3) قطاع عرضى لجزء من ساق النفل alsike clover (Trifolium hydridum)

ان الذى يكمل وظيفة الدعم الميكانيكى للخشب فى اغلب النباتات الخشبية منها والعشبية هى الالياف السكلرنشيمية ، حيث يمكن ملاحظتها فى المقاطع العرضية للسيقان وهى على شكل قبعة او كتل دائرية تؤلف القسم الخارجي من اللحاء ولكن يمكن ان توجد على شكل تجمعات او حزم بين الاجزاء الطرية للنسيج .

تتألف منطقة اللب والقشرة فى الغالب من خلايا برنشيمية ، ويمكن لهذا النسيج ان يخزن كميات كبيرة من الغذاء حيث انه يتواجد فى الاغصان والفروع الخشبية وفى السيقان الترابية الزاحفة تحت سطح التربة للنباتات العشبية المعمرة ، وغالبا ما تتألف الصفوف الخارجة من خلايا قشرة الاغصان وسيقان النباتات العشبية من خلايا كلورنشيمية تعطى بدورها للساق لونا يميل الى الخضرة .

الطبقة الخارجية للساق الفتية هى البشرة epidermis ، التى تتألف عادة من صف واحد من الخلايا . وعادة ماتكون حياة البشرة فى النباتات الخشبية قصيرة ، سرعان ماتستبدل بطبقة فلينية Cork Layer تساعد على التقليل من فقد الماء من الانسجة الداخلية ويتكون الفلين نتيجة لنشاط الكمبيوم الفلينى Cork Cambium (شكل 7ـ1 ، 7ـ29)

وهكذا تم تصنيف الانسجة الوعائية للنبات الى ثلاثة انظمة :

(1) النظام البشرى (الخاص بالبشرة) dermal system والذى يتألف من البشرة التى يحل الفلين محلها بعد سقوطها .

(2) النظام الوعائى vascular system ويتألف من الخشب واللحاء .

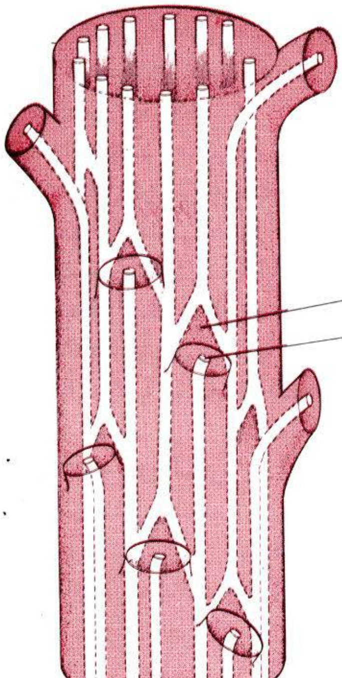
(3) نظام النسيج الوسطى The ground tissue system ويشمل هذا التقسيم كل الانسجة التى تخص نسيج البشرة والنسيج الوعائى وحدهما .

ويتألف هذا النسيج بصورة رئيسة من خلايا برنشيمية تتألف منها بشكل رئيسى منطقة اللب والقشرة والاوراق والثمار اللحمية . كما توجد فى هذا النسيج خلايا اكثر تخصصا كالسكلرنشيما Sclerenchyma والكولنشيما chollenchyma (شكل 7ـ10) بالاضافة الى وجود اقنية راتنجية resin ducts واقنية زيتية Oil ducts . كما يمكن ان توجد اقنية افرازية اخرى من انظمة النسيج الوسطى .

كنا قد اشرنا سابقا الى ان الانسجة الوعائية ممتدة فى طول جسم النبات ، فى الجذر والساق والورقة . ويظهر ذلك بجلاء خاص فى مناطق العقد ، حيث تظهر الحزم الوعائية للساق كاستمرار لحزم عنق الورقة ، كما يمكن تتبع هذه الحزم فى الساق على مسافات متباينة الى ان تندمج مع حزم وعائية تتصل بأوراق اخرى (شكل 7ـ4) . والحزمة التى تمتد فى الساق الى داخل الورقة من نقطة تفرع الاسطوانة الوعائية الى قاعدة عنق الورقة تسمى بأثر الورقة Leaf trace . ولهذا يمكن ملاحظة اثر الورقة او آثارها على كل عقدة ، خارجة رأسيا من الاسطوانة الوعائية ، سرعان ماتنحرف افقيا باتجاه الورقة . ففى نباتات ذوات الفلقتين يكون الاثر الواحد للورقة او ثلاثة آثار هى المعتادة . فى حين

ان اغلب ذوات الفلقة الواحدة تترك اوراقها آثارا عديدة لكل منها . فعند سقوط الاوراق فى غصن نبات من ذوات الفلقتين يلاحظ عند منطقة انفصال الورقة آثار حزمية منتشرة على سطح ندبة الورقة الساقطة (شكل 2ـ4).

توجد فوق نقطة تفرع اثر الورقة Leaf trace عن الاسطوانة الوعائية للساق ، منطقة مملوءة بنسيج برنشيمى . وتسمى هذه المنطقة بفرجة الورقة Leaf gap (شكل 7ـ4) وتمتلىء هذه الفرجة تدريجيا بالحزم المجاورة وذلك فوق العقدة ، اما عن طريق تغيير الحزم لمسارها او بواسطة تفرعاتها . ولم تدرس بعد مزايا فرجة الورقة بالنسبة لاقتصاد النبات .



شكل (7 ـ 4) رسم منظورى يوضح طبيعة المنظومة الوعائية وفراغات الاوراق وندب الورقة فى نبات عشبى من ذوات الفلقتين . الرسم موضوع على اساس نبات الكتان flax (Linum perenne)

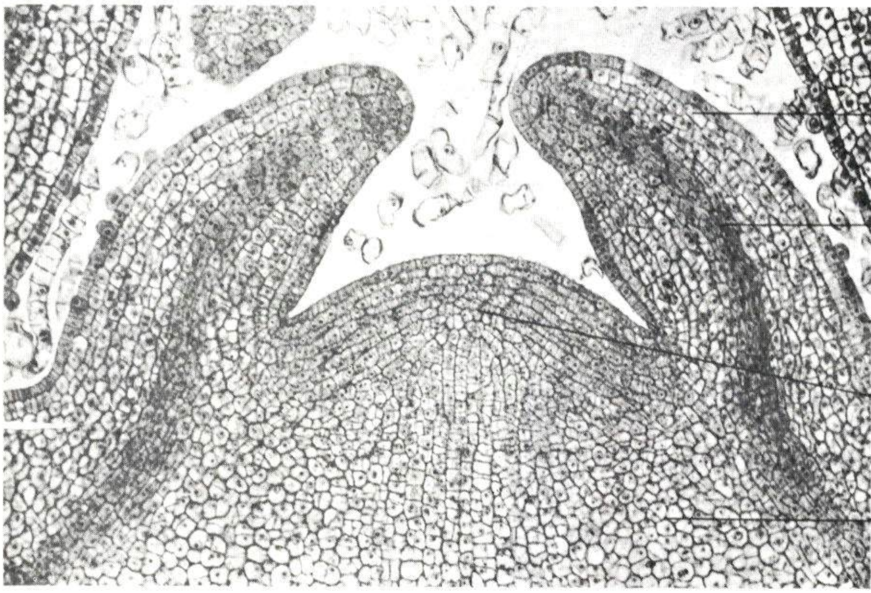
نمو المجموع الخضرى : Growth of the Shoot

يحدث نمو الانسجة الوعائية فى النبات على مراحل (1) تكوين خلايا جديدة (2) زيادة حجم الخلايا باضطراد . وعملية التغير هذه يصاحبها عـادة تمايز ، اى بعبارة اخرى يمكن لهذه الخـلايا ان تصبح مختـلفة الواحـدة عن الاخـرى . وهـكذا نرى ان هنـاك صلة وثيـقة بين النمو Growth من جهة والتمايز Differentiation من جهة اخرى ، بما يحتم دراستهما معا .

وغالبا ما ينحصر تكوين الخلايا الجديدة على مناطق متخصصة تدعى بالمرستيمية Meristems . وكما ذكر سابقا ، فان الخلايا المرستيمية هى تلك الخلايا التى تكون حديثة السن فسيولوجيا ولها القدرة على مواصلة الانقسام ، بالاضافة الى انها تملك انوية كبيرة نسبيا وسيتوبلازم وفيرا وجدرانا اولية رقيقة . ويمكن تصنيف المناطق المرستيمية الى مجموعتين : (1) المرستيمات الطرفية (القمية) Apical Meristems الموجودة عند قمة كل من الساق والجذر . (2) المرستيمات الجانبية Lateral Meristems التى تقع على جانبى كل من الساق والجذر . بالاضافة الى ذلك تحوى عادة الاعضاء المعرضة للاستطالة مناطق تحافظ على صفتها المرستيمية وتدعى بالمرستيمات البينيـة intercalary meristems . ومع اهمية هذه المرستيمات فانها وقتية فى الغالب ، لذلك لا توضع فى مصاف المرستيمات القمية او الجانبية .

النمو الطرفى : Terminal Growth

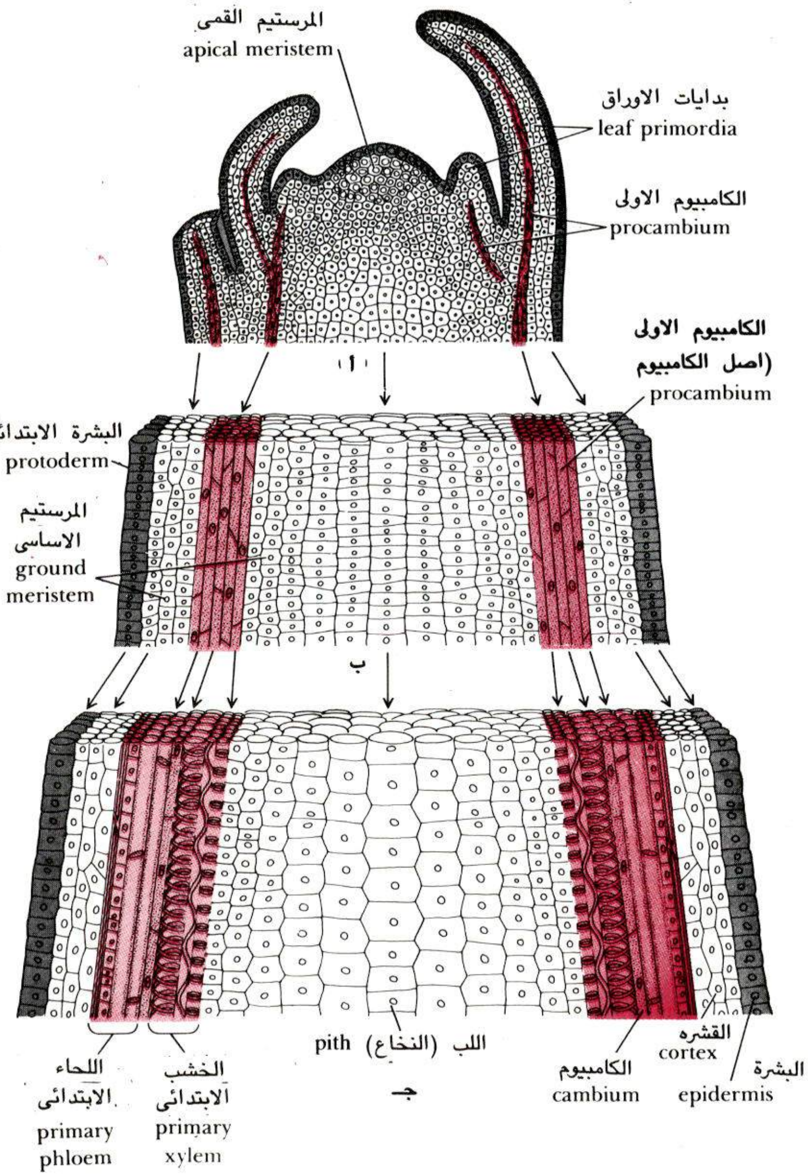
من خلال النقاش عن خطة نمو النباتات الوعائية ، كما ورد فى الفصل الثانى ، كنا قد المحنا الى الدور المهم للقمة النامية فى الساق او ما يسمى بالقمة المرستيمية للساق فى التمهيد لتكوين انسجة الساق . ومجموعة الخـلايا المرستيمية هذه هى المسئولة عن استمرار نمو الساق الذى يمكن اعتباره نموا غير محدود . فالقمة المرستيمية (شكل : 7ـ5) لا تقوم فقط بانتاج خلايا جديدة تضاف الى الانسجة



شكل (7 ـ 5) قطاع طولى تقريبى للقمة النامية لنبات المران الابيض white ash(Fraxinus americana) اخذ فى طور النمو المبكر .

التى تحتها ولكنها ايضا تنتج حراشف البراعم والاوراق وغالبا ما تكون البراعم الجانبية ايضا . ومع بداية تكوين الاوراق الاولية Leaf Promordia تتكون العقد Nodes والسلاميات Internodes الجديدة (شكل 7ـ6) . وهكذا يتضح ان القمة المرستيمية هى بالدرجة الاولى مناطق نشوء الانسجة الاولية أوالاساسية وملحقات النموات الجانبية ، وليس كما يشار اليها احيانا بانها المصدر المباشر لجميع خلايا الساق الناضجة (باستثناء الانسجة المتكونة عن طريق النشاط الكمبيومى) . ولا ينحصر الانقسام الخلوى على قمة الساق ، بل ليس هو المصدر الاهم لتكوين الخلايا الجديدة . يستمر الانقسام الخلوى لفترة ما فى مناطق تحت القمة المرستيمية خلال كل عملية تكوين سلامية جديدة .

عند دراسة نمو الساق عند المسافات البعيدة فى القمة ، نتبين ان هذا النمو هو نتيجة اتساع هذه المناطق ومن ثم تمايزها (شكل : 7ـ6) ففى قمة هذا المقطع التخطيطى الذى يرمز له بالحرف (أ) الذى يمثل قمة الساق نرى ان الانقسام الخلوى هو السائد ، عُلما بانه توجد ايضا بعض من الخلايا المتسعة والخلايا المتمايزة . كما يمكن ان نلاحظ ان الزيادة فى حجم بعض الخلايا تتم عن طريق اتساعها فى كل الاتجاهات ، فى حين ان هناك خلايا اخرى ، تزداد استطالتها باتجاه رأسى . اما فى الجزء الأوسط فى هذا المقطع (ب) فيلاحظ استمرار الانقسام الخلوى حتى فى الخلايا التى تحتوى على فجوات بالاضافة الى توسع الخلايا ، ويلاحظ ايضا تمايز نسيجى واضح . واخيرا نأتى الى الجزء السفلى فى هذا المقطع التخطيطى (ج) فنلاحظ من جديد ازدياد حجم الخلايا ، بالاضافة الى ان الانسجة الاضافية اصبحت اكثر تمايزا . ثم ان بعض الانسجة كالبشرة واللب والقشرة تكون قد وصلت الى مرحلة من النضوج الفسيولوجى تدخل بعدها فى مرحلة لا يحدث فيها اى تغير نسبى يذكر ما لم يحدث هناك تغير فى العوامل المحيطة بالخلية . كما توجد ايضا خلايا اخرى كالياف اللحاء وبعض من خلايا الخشب ، حيث تفقد انويتها وسيتوبلازماتها ، وتصبح خلايا ميتة . فمثل هذه الخلايا لايمكن ان يحدث معها تمايز من جديد . بالاضافة الى ان الزيادة الحاصلة فى حجم الخلايا ابتداء من القمة الى القاعدة يرجع قسم منها الى انتشار الماء الى داخل هذه

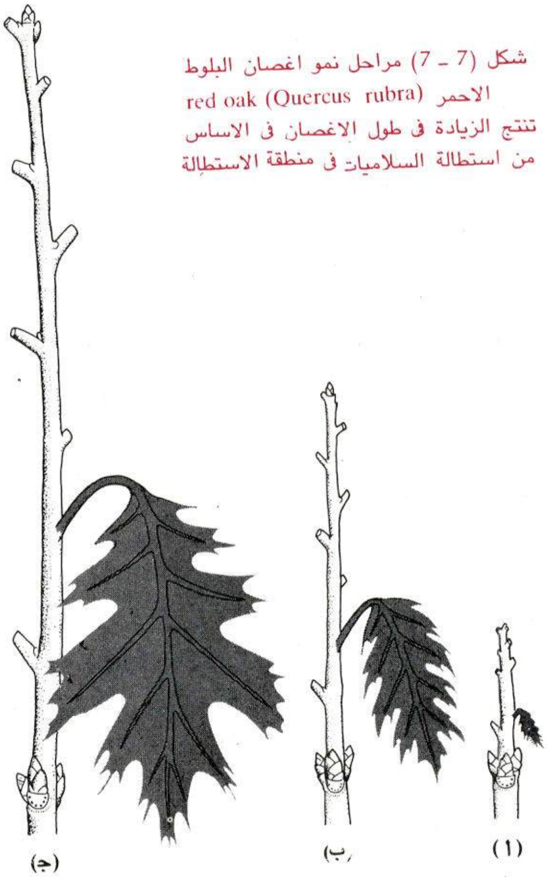


شكل (7 ـ 6) تسلسل التغيرات (أ و ب و جـ) اثناء النمو الجارى فى الجزء الطرفى فى ساق نبات ذى الفلقتين . القطاع الطولى تخطيطى بدرجة كبرى .

الخلايا ، والذى ينتج عنه ازدياد حجم الفجوات ، بالاضافة الى امكانية مضاعفة وزن السيتوبلازم . وان الخلية الناضجة فسيولوجيا يمكن ان يكون حجمها عموما اكبر من الخلية المرستيمية بـ 10 الى 20 مرة بالاضافة الى ان هذه الزيادة تصل فى بعض انسجة الثمار حتى الى 100 مرة .

والآن يمكن ربط هذه العمليات بطول الساق وخاصة النباتات الخشبية ذوات الفلقتين ، مع ان نفس الاسس تنطبق على المخروطيات والعشبيات من ذوات الفلقتين وذوات الفلقة الواحدة ايضا وهى مقتصرة فقط على القسم الطرفى للساق الخشبية او الغصن المسئول عن حدوث الزيادة فى الطول . وان كل هذا النمو ناتج من انقسام وتوسع الخلايا فى مناطق السلاميات خلف قمة الساق ، وان زيادة طول السلاميات هى التى ستدفع بقمة الساق الى الاعلى . وهذه المنطقة ستمتد الى مسافة ملحوظة خلف قمة الساق ، حيث

شكل (7 ـ 7) مراحل نمو اغصان البلوط الاحمر red oak (Quercus rubra) تنتج الزيادة فى طول الاغصان فى الاساس من استطالة السلاميات فى منطقة الاستطالة



تصل فى بعض الاحيان الى اكثر من 6 بوصات (15سم)، وتشتمل على عدد من السلاميات (شكل : 7ـ7) . ان الخلايا المنقسمة فى كل سلامية حديثة العهد تؤلف مرستيما مؤقتا . واغلب هذه الخلايا تتحول فى آخر الامر الى خلايا ناضجة فسيولوجيا . كما ان الخلايا الناتجة عن عملية الانقسام هذه تتسبب فى النمو الطولى كنتيجة لاتساعها . ونتيجة لهذه الزيادة فى الحجم تسير عملية الزيادة فى الطول حثيثا الى الاعلى من القاعدة وحتى القمة ومارة بكل سلامية على التوالى . ويتوقف الانقسام الخلوى اولا عند قاعدة السلامية ومن ثم فى وسطها وطرفها العلوى . بعد ذلك بفترة قصيرة تتوقف ايضا عملية ازدياد حجم الخلايا بنفس النظام السابق اى ابتداء من القاعدة وحتى الطرف العلوى للسلامية . وعليه فان النمو الطرفى للساق مرتبط بشكل كبير باستطالة السلاميات .

وكما هو مشار اليه فى الفصل الثانى ، فان برعم النباتات الخشبية هو عبارة عن غصين غير نام . ان بعض العقد والسلاميات الموجودة فى الغصن الجديد تكون احيانا ، وربما كلها فى حالات اخرى ، موجودة فى البرعم حتى قبل اشهر من نموه ، حيث يمكن ملاحظتها عند اخذ مقطع فى البرعم السابت (الساكن) . كما ان النمو الطرفى فى النباتات الخشبية التى تحتوى على براعم سابتة (فى دور السبات) يمكن ان يكون سريعا ، ثم ان الساق يمكن ان تزداد من عدة بوصات الى عدة اقدام طولا خلال فصل النمو الواحد . اما النباتات الخشبية التى تعيش فى المناطق المعتدلة المناخ فان النمو الطرفى فيها بشكل عام يكون مقصورا على النصف الاول من فصل النمو ، بل ويكتمل خلال اسابيع قليلة عادة . ان العديد من النباتات العشبية التى تعيش فى المناطق المعتدلة المناخ تستمر فى هذا النمو خلال معظم فصل النمو . اما بالنسبة لبعض الاعشاب herbs فانها تستمر فى الاستطالة حتى تموت بسقوط الصقيع ، فى حين ان انواعا اخرى تستمر فى النمو حتى عملية تكوين الازهار والثمار .

اصل ورقة النباتات ذوات الفلقتين وتطورها : Origin and Development of the Dicotyledonous Leaf

تنشأ الورقة عن طريق انقسام الخلايا فى المنطقة الواقعة بجانب القمة والمحاذية لها ويحدث عادة اول الانقسامات تحت الطبقة الخارجية مباشرة ، ولكن سرعان ما تبدأ خلايا الطبقة الخارجية بالانقسام ايضا . وتنقسم هذه الخلايا التى تشمل الخلايا فى الطبقة الخارجية والخلايا التى تحتها مباشرة بسرعة أكثر بكثير من الخلايا الاخرى فى القمة ، وسرعان ما تتكون امتدادات او بروزات شبيهة باصابع اليد تنحنى فى الجوانب باتجاه القمة (شكل : 7ـ5، 7ـ6).

ويمثل الجزء السفلى فى هذه البروزات السويق الجنينى للورقة Embryonic Petiole ، فى حين ان الجزء العلوى يمثل العرق الوسطى الجنينى Embryonic Midrib ، او ما يسمى ايضا بمحور النصل . وتبدأ الخلايا على امتداد المحور من الجهتين بالانقسام لتكوين النصل Blade وهو الجزء المتسع من الورقة . اما النمو القادم فيحدث عن طريق الانقسام الخلوى واستطالة الخلايا فى كل الورقة . ان السرعة التى تحدث فيها هذه النشاطات تختلف باختلاف

مواقع الانسجة التى تنشأ فى هذه الاوراق . ونتيجة لعدم التوازن فى نسبة النمو لكل الورقة فان ذلك يقود الى تكوين العديد من المسافات ما بين الخلايا Intercellular Spaces عند اكتمال نمو الورقة .

وتتألف البراعم السابقة للنباتات الخشبية التى تعيش فى المناخ الحار من اوراق جنينية فى مراحل مختلفة من التطور ابتداء من تلك الشبيهة بالنتوءات غير المتمايزة نسبياً والاقرب الى القمة ، الى ان تصل الى أوراق اقدم منها ، ويكون فيها النصل مكتملا . والورقة التى نشأت خلال احد فصول النمو يمكن ان يتوقف نموها لتستأنفه فى الربيع القادم .

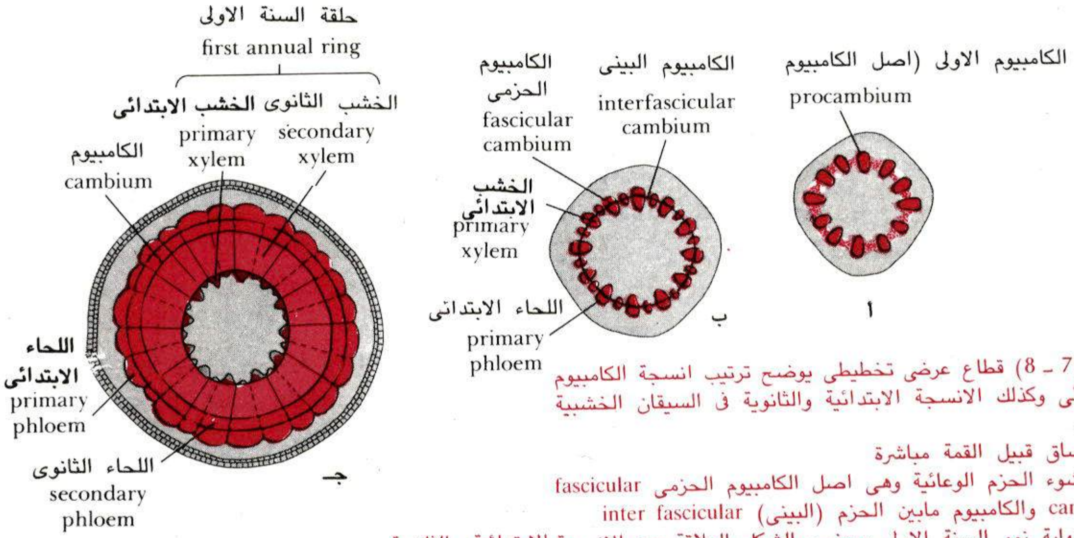
وتتكون الاوراق بواسطة القمة النامية للساق فقط عدا قليل من الاستثناءات . واذا ما حصل اى اذى او تلف لهذه الاوراق فانها لاتستطيع ان تستعيد نموها من جديد ولكن يمكن ان يستعاض عنها عن طريق نمو اوراق جديدة تتكون فى القمة النامية بنفس الطريقة . وحيث ان الاوراق تكون عادة محدودة النمو وفترة حياتها قصيرة ، لذلك تتبين فوائد مخطط النمو غير المحدود للنبات لما يبديه من استعداد فى انتاج مستمر لاوراق جديدة .

النمو الابتدائى : Primary Growth

لقد تم وضع الاسس الخاصة لفهم النمو الابتدائى ، الذى يعتبر عموما احد نوعين من انواع النمو الموجودة فى النباتات الوعائية Vascular Plants . يبدأ النمو الابتدائى فى مناطق القمم المرستيمية للجذور والسيقان . وينتهى عندما يتم تمايز هذه الخلايا المرستيمية وتحولها الى انسجة ناضجة، حيث يتشكل الجسم الابتدائى primary body نتيجة هذا النمو عموما. أما الأنسجة التى يتألف منها الحجم الابتدائى فتدعى بالأنسجة الابتدائية primary tissues. إن كلا من اللحاء والخشب لحاء ابتدائى وخشب ابتدائى. وكذلك القشرة واللب والبشرة وهى أنسجة ابتدائية ايضا. وتقع هذه الأنسجة تحت القمة المرستيمية مباشرة، وتعتبر المراحل الابتدائية لثلاثة من الأنظمة النسيجية وهى: النسيج البشرى dermal tissue والنسيج الوعائى Vascular tissue والنسيج الاساسى ground tissue. وتتألف هذه الانسجة المرستيمية كما فى شكل (7ـ5، 7ـ6) من (1) البشرة الاولية protoderm التى تكون فيما بعد البشرة و (2) الكامبيوم الاولى procambium الذى تنشأ منه الانسجة الوعائية الابتدائية و (3) المرستيم الاساسى ground meristem الذى يكون الأنسجة الاساسية واللب والقشرة. ويتألف الكامبيوم الاولى فى سيقان ذوات الفلقتين وسيقان المخروطيات Coniferous stems من خلايا مستطيلة ومنتظمة بشكل عمودى، أما ترتيبها فى الساق فيأخذ شكلا اسطوانيا. وعند ملاحظة المقطع العرضى فى شكل (7ـ18) نجد أن خلايا الكمبيوم الاولى تكون صغيرة القطر ولكنها غنية بالبروتوبلازم ، وتتواجد مرتبة فى مجاميع على شكل دائرى ومفصولة عن بعضها بنسيج مرستيمى يبقى مرستيميا لبعض الوقت. وهذه المجاميع فى الواقع ما هى إلا حزم وعائية غير ناضجة. وهى ممتدة الى الاعلى الى داخل الاوراق الجنينية التى تنمو فى نفس الوقت مع نمو المجاميع. أما بالنسبة لاشرطة الكامبيوم الاولى فسرعان مايكتمل انتظامها فى حلقة وذلك عن طريق أشرطة اضافية من الكامبيوم الاولى تكونت من الخلايا المرستيمية الموجودة بين المجاميع الأصلية، ومن هذه الأشرطة تمتد أشرطة الى داخل الاوراق الجنينية التى تكونت حديثا. وكما يحدث فى بعض النباتات فإن أشرطة الكامبيوم الاولى تزداد فى العرض الى درجة انها تلتقى مع مايجاورها فى مجاميع.

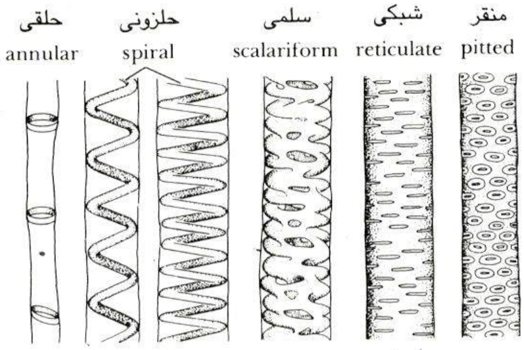
بعدها تبدأ أشرطة الكامبيوم الاولى بالتمايز تدريجيا ثم النضوج لتتحول الى حزم وعائية منفصلة عن بعضها البعض بواسطة نسيج بارنشيمى مابين الحزم inter fascicular parenchyma ينتج عن تمايز الخلايا المرستيمية المتبقية بين أشرطة الكامبيوم . وبذلك فان الخلايا الخارجية فى أشرطة الكامبيوم الأولى تتمايز الى لحاء ابتدائى اما الخلايا الداخلية فتتمايز الى خشب ابتدائى (شكل 7ـ8ب) وتبقى بين اللحاء الابتدائى والخشب الابتدائى طبقة بسمك خلية واحدة تدعى بالكامبيوم الوعائى Vascular cambium. وهذه الخلايا لاتتمايز بل تبقى مرستيمية كما أنها تتمتع بقدرة غير محدودة على الانقسام لتكوين خلايا جديدة تساعد فى زيادة قطر الساق.

ان خلايا اللحاء الابتدائى تتشابه عموما مع خلايا اللحاء التى يمكن ان تتكون فيما بعد عن طريق النشاط الكامبيومى.



شكل (7 ـ 8) قطاع عرضى تخطيطى يوضح ترتيب انسجة الكامبيوم الابتدائى وكذلك الانسجة الابتدائية والثانوية فى السيقان الخشبية الفتية .
أ ـ الساق قبيل القمة مباشرة
ب ـ نشوء الحزم الوعائية وهى اصل الكامبيوم الحزمى fascicular cambium والكامبيوم مابين الحزم (البينى) inter fascicular
جـ ـ نهاية نمو السنة الاولى ويوضح الشكل العلاقة بين الانسجة الابتدائية والثانوية .

اما الخشب الابتدائى فان معظم خلاياه تكون مميزة بوجود جدار ثانوى (شكل 7ـ9) وهذا التثخن فى الجدار يأخذ اشكالا متعددة منها: الحلقى annular، أى أن التثخن الثانوى يكون مرتبا على شكل حلقات . وهناك التثخن الحلزونى Spiral كما يظهر فى شكل (7ـ6 ، 7ـ9). إن هذين النوعين من الخلايا يمثلان خلايا ناضجة، علما بأن الساق مستمرة فى استطالتها. وعليه فإن زيادة لايستهان بها تحدث فى هذه الخلايا الناضجة المرافقة للعضو المستطيل عن طريق الشد الذى يحصل على الجدران الابتدائية لعناصر الخشب والواقعة بين عناصر النوع الحلقى والنوع الحلزونى. ومن الممكن ملاحظة التثخن الحلزونى بشكل اكثر وضوحا من النوع الآخر الحلقى حيث يرى بسهولة تحت المجهر فى أدق عروق الورقة، وذلك عن طريق تحضير عينات من أوراق رقيقة إما بتفكيكها أو تبييضها وجعلها شفافة تسهل ملاحظتها. وأحسن الاوراق التى تستخدم لهذه الغاية أوراق الفاصوليا الخضراء garden bean . أما بالنسبة للانواع المتبقية من الخشب الابتدائى فتصبح عموما خلايا ناضجة بعد أن تكتمل استطالاتها. وهذه الخلايا تشمل بعد تمايزها أول ماتشمل العناصر السلمية Scalariform elements وكذلك العناصر الشبكية reticulate elements وأخيرا العناصر المنقرة pitted elements ومن أجل التمييز بين العناصر السلمى والشبكى والمنقر نرى ان السلمى (الشبيه بالسلم)



شكل (7 ـ 9) انواع خلايا الخشب الابتدائى فى قطاعات طولية توضح طبيعة الجدار الثانوى ، علما بان خارج الساق يكون على اليمين واللب على اليسار .

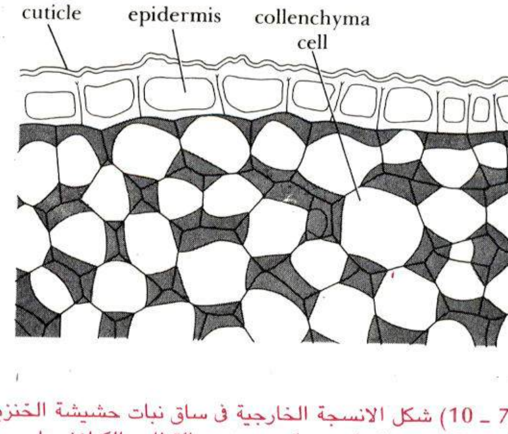
مؤلف من سلسلة حلزونية من التثخنات ولكن هذه السلسلة مرتبطة داخليا بتثخنات اخرى. اما الشبكى فان التثخن الثانوى مطبوع على الجدار الابتدائى على شكل شبكة، فى حين ان العناصر المنقرة تشبه الى حد بعيد خلايا الخشب الثانوى التى تقوم بنقل الماء.

وليس من الضرورى تواجد جميع الانواع السابقة من خلايا الخشب الابتدائى فى نبات معين او عضو نباتى معين. وقد توجد مندمجة الواحدة بالاخرى . فمثلا من الصعوبة فى

أغلب الاحيان التمييز بين التثخن السلمى والشبكى ولذلك فإن مثل هذه الخلايا يفضل بتسميتها الشبكى ـ السلمى.

غالبا مايحتوى اللحاء الابتدائى على عدد من الخلايا السكلرنشيمية ذات الجدران السميكة التى تساعد فى الدعم، وعادة تكون على شكل ألياف طويلة. كما يمكن ايضا ان تتواجد مثل هذه الخلايا فى القشرة. ويوجد فى السيقان العشبية والخشبية حديثة العهد الى الخارج من اللحاء نسيج واسع من خلايا برنشيمية يدعى بالقشرة Cortex. وتقوم القشرة بخزن كمية من الماء لصنع الغذاء بعملية البناء الضوئى عن طريق خلايا برنشيمية ـ خضراء كلورنشيمية Chlorenchyma سبق أن أشرنا اليها. والقشرة فى السيقان العشبية والخشبية مغلفة بطبقة واحدة من خلايا متراصة تدعى بالبشرة epidermis حيث تشبه الى حد بعيد بشرة الورقة. وبشرة الساق مثلها مثل بشرة الورقة، مكسوة بطبقة الكيوتكل (الأدمة) Cuticle (طبقة شمعية) لحمايتها من الجفاف كما نلاحظ وجود الثغور عادة فى بشرة الساق كما هو فى الورقة ايضا.

وتحتوى الكثير من النباتات على أنسجة ابتدائية حية تدعى بالكلونشيمية Collenchyma وتتألف هذه الانسجة من خلايا مستطيلة مدببة النهايات، ولها جدار ابتدائى سميك مؤلف من السليولوز والبكتين pectin. وهى من أنسجة الدعم تقوم بوظيفة الدعم الميكانيكى للنسيج الوعائى



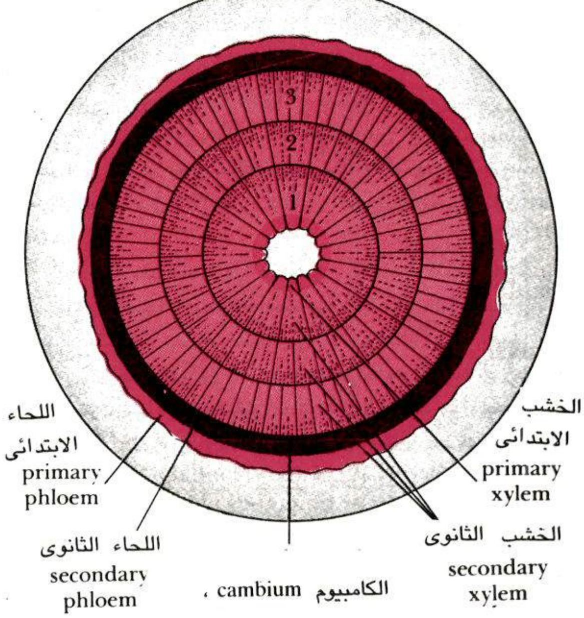
شكل (7 ـ 10) شكل الانسجة الخارجية فى ساق نبات حشيشة الخنزير pigweed chenopodium album ويوضح القطاع الكولنشيما.

ويتثخن جدارها عند الزاويا حيث تلتقى عندها عدد من الخلايا المجاورة (شكل 7ـ10) وقلما يحدث أى تثخن فى الجدران العرضية. وقد توجد مسافات بينية inter cellular spaces بين خلايا هذا النسيج. وفى النباتات العشبية من ذوات الفلقتين يكثر وجود هذا النوع من الانسجة قرب سطح اى عضو من اعضاء النبات كالساق مثلا. كما يمكن لخلايا هذا النسيج ان تتجمع عند زوايا السيقان فينتج عنها أعمدة طولية. وتوجد فى أعناق الاوراق (كورقة الكرفس) حيث تشكل الاساس فى بناء العرق الرئيسى او «العروق» الجانبية البارزة على سطح الورقة. ومن الشائع وجودها فى الاوراق ذات النصل الواسع للنباتات العشبية والخشبية، ولكن يمكن أن تكون مرافقة للعرق الرئيسى. وخلايا هذا النسيج يزداد طولها عدة مرات اثناء نموها ويبدأ التثخن فى جدرانها مبكرا. وبذا يصبح النسيج متكيفا تماما مع وظيفته فى دعم الاعضاء النامية.

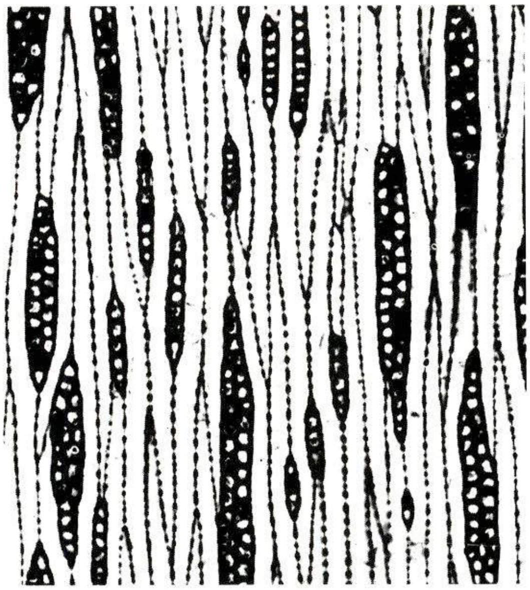
النمو الثانوى: **Secondary Growth** بالمقارنة بالنمو الابتدائى، يحدث النمو الثانوى نتيجة لنشاط المرستيم الجانبى وخاصة الكامبيوم الوعائى ويمكن ان تتكون كمية قليلة من الفلين ايضا من الكامبيوم الفلينى Cork cambium. ومن مميزات النمو الثانوى الزيادة فى قطر الساق والجذر، هذا وان الانسجة المتكونة اثناء هذا النمو تدعى بالانسجة الثانوية Secondary tissues.

وينشط الكامبيوم عادة قبل ان تتحول الانسجة الوعائية الاولية الى انسجة متمايزة تماما. وينشأ الكامبيوم اول ماينشأ فى الحزم الوعائية الابتدائية اثناء تطورها كطبقة من الخلايا بين الخشب واللحاء والمتمايزين. ولاتتمايز خلايا الكامبيوم بل تبقى مرستيمية. ويدعى الكامبيوم فى مثل هذه الحزم بالكامبيوم الحزمى Fascicular cambium. يظهر بعد ذلك مباشرة الكامبيوم فى النسيج ما بين الحزم ليربط بين الكامبيوم الحزمى فى كلا الجانبين. ويدعى الكامبيوم الذى يفصل بين الحزم بالكامبيوم مابين الحزم interfascicular cambium (شكل 7ـ8 ب)؛ وهو كالكامبيوم الحزمى.

وهكذا فان اشرطة الكامبيوم الحزمى تترابط عن طريق كامبيوم مابين الحزم. مكونة اسطوانة تمتد عبر عقد



شكل (7 ـ 11) مخطط لقطاع عرضى فى ساق خشبى لشجرة عمرها ثلاث سنوات ويوضح موضع الكامبيوم والانسجة الوعائية الابتدائية والثانوية كما رمز فى الشكل لحلقات سنوات النمو الثلاثة بالارقام 1 ، 2 ، 3 على التوالى .



شكل (7 ـ 12) الكامبيوم السابت فى شجرة الكمثرى pear (Pyrus communis) قطاع طولى . وتعتبر الخلايا المستطيلة هى بوادىء مغزلية fusiform initials ، اما الخلايا المستديرة والمتجمعة فهى بوادىء الاشعة الحزمية .

وسلاميات الساق وتفرعاتها. وفى بعض النباتات نجد ان أشرطة الكامبيوم الأولية تزداد فى الاتساع لتتصل فى النهاية مع الاشرطة المجاورة ولهذا فإن الكامبيوم الحزمى يكون مستمراً بحيث لايتميز الكامبيوم الحزمى عن الكامبيوم مابين الحزم .وحيث ان الكامبيوم واقع على طول جوانب الساق والجذر فانه بذلك يمثل مرستيما جانبيا بمقارنته بالمرستيم الطرفى من حيث موقعه.

وتنقسم خلايا الكامبيوم حيث تنتج الخشب الثانوى الى الداخل واللحاء الثانوى الى الخارج (شكل: 7ـ8جـ) ومما تجدر ملاحظته هو ان الخشب الثانوى المتكون يكون واقعا خارج الخشب الابتدائى فى حين يكون اللحاء الثانوى واقعا الى الجهة الداخلية من اللحاء الابتدائى. وبنهاية فصل النمو فان حلقة اول نمو او مايسمى بالنمو الحولى annual تكون قد اكتملت فى الغصن twig (شكل 7ـ8جـ) وتتألف الحلقة من كمية قليلة من الخشب الابتدائى المحاذى لمنطقة اللب، اما الباقى فهو الخشب الثانوى ويكون الكامبيوم فى النباتات الخشبية خشبا ثانويا ولحاء ثانويا سنة إثر سنة خلال فترة حياة النبات. ويتحطم اللحاء القديم تدريجيا بواسطة الضغط المسلط عليه من قبل الانسجة الجديدة المتكونة داخله، فى حين أن الخشب الثانوى لايتعرض للضغط ولهذا فهو الذى يشكل فى آخر الامر هيكل جسم النبات. وكما هو واضح فى شكل (7ـ11)..

فان المقطع العرضى يتألف من مجموعة متسلسلة من حلقات النمو ، وإن الحلقات الوحيدة التى يدخل فيها الخشب الابتدائى هى الحلقة الاولى إلى الداخل .

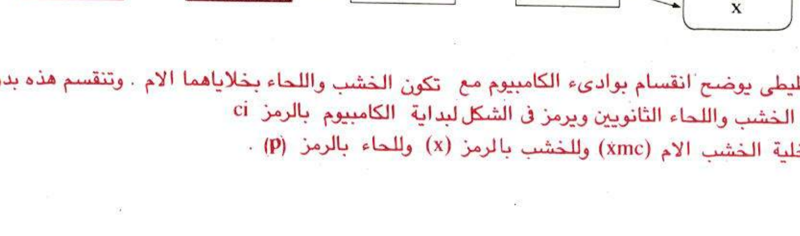
الكامبيوم *The cambium*

يتضح من كل ماتقدم أن نشاط الكامبيوم هو المسئول عن تكوين الخشب واللحاء فى الشجرة ، وكذلك الخشب ومشتقاته التى يستخدمها الانسان . ومادام للكامبيوم مثل هذه الأهمية للنبات وللانسان على حد سواء فانه بذلك يستحق منا دراسة مكثفة ومركزة .

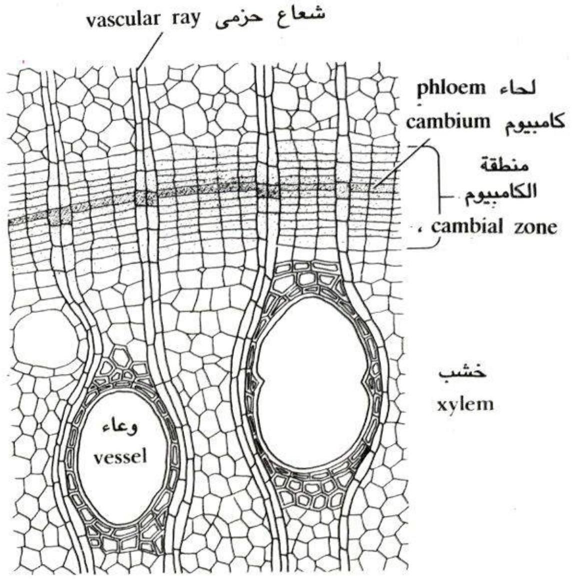
إن كل خلية من الخلايا التى يتألف منها الكامبيوم تدعى بخلية أصل الكامبيوم Cambial Initials وتكون مستطيلة فى المقطع العرضى . ولو تم نزع القلف Bark مثلا من الشجرة فان الكامبيوم سيتعرض الى الخارج ، ويظهر أصل الكامبيوم تحت المجهر كما فى شكل (7 ـ 12) . وتجدر الاشارة الى أن خلايا أصل الكامبيوم تتألف من نوعين من الخلايا : (1) الخلايا المستطيلة كثيرا ذات النهايات المدببة والتى تدعى بالاصول المغزلية Fusiform Initials و(2) الخلايا الأصغر جدا المتجمعة بهيئة عنقودية بشكل العدسة Lens – Shaped التى تدعى بالاصول الشعاعية الحزمية Vascular Ray Initials .

وينشأ عن الأصول المغزلية خلايا طويلة وعمودية من الخشب واللحاء . أما كيفية انقسامها فهى عن طريق تكون جدار مماسى (بموازاة سطح الساق) بطول الخلية كلها يقسم الخلية الى خليتين متساويتين (شكل 7 ـ 13) وتبقى إحدى هاتين الخليتين كخلية كامبيومية أصلية تكبر لتصل الى حجمها السابق ، لتنقسم مرة أخرى ، بينما تنضم الخلية الثانية إما الى الخشب (الى الجهة الداخلية من الكامبيوم) أو الى اللحاء (الى الخارج) . ان هذه الخلايا المشتقة حديثا من الكامبيوم والتى انضمت الى الخشب واللحاء (على الأقل فى النباتات الخشبية حيث درس الكامبيوم دراسة مستفيضة) لاتتمايز مباشرة الى خشب ناضج ولحاء ناضج ، ولكنها عادة تنقسم انقساما واحدا أو عدة انقسامات بواسطة جدران مماسية كما هو مبين فى شكل (7 ـ 13) . وان مثل هذه الخلايا المشتقة حديثا من الكامبيوم والتى لازالت تنقسم تدعى بالخلايا الخشبية والخلايا اللحائية الأم Xylem and Phloem Mother Cells . ومع مواصلة الانقسام تبدأ الخلايا الأم ابتداء من تلك الأبعد عن الكامبيوم بالتمايز تدريجيا الى خلايا خشب وخلايا لحاء كل فى جهة ، مع الاخذ فى الاعتبار بأن الخلايا المشتقة التى تتكون فى جهة الخشب هى أكثر بكثير من تلك التى تتكون فى جهة اللحاء . فمثلا فى المخروطيات سريعة النمو هناك أكثر من عشر خلايا تتكون من الخشب مقابل خلية واحدة من اللحاء وفى حالة توسع جذع الشجرة تتكون اصول مغزلية جديدة فى الكامبيوم لتقابل الزيادة الحاصلة فى محيط الساق .

أما الاشعة الحزمية فتتكون كنتيجة لنشاط الاصول الشعاعية الحزمية بطريقة مشابهة لتكوين الخشب واللحاء ، وبذلك تتكون جدران مماسية تقسم كل أصل شعاعى الى خليتين . احدى هاتين الخليتين تبقى كأصل شعاعى فى حين أن الأخرى إما أن تستطيل مباشرة بعض الشىء أو بعد انقسام أو أكثر باتجاه افقى وبذلك تساهم فى زيادة نصف قطر الاشعة الحزمية . وتبقى هذه الاضافة من قبل الاصول الشعاعية مستمرة والى فترة حياة النبات . وبازدياد قطر الساق تحدث زيادة كبيرة فى عدد الأشعة المتكونة . ويحدث هذا عن طريق تكوين مجاميع جديدة للاصول الاشعاعية من خلايا الاصول المغزلية فى الكامبيوم حيث تكون هذه اشعة حزمية جديدة فى نقاط مختلفة على المحيط . تتسع بعض من خلايا الاشعة ابتداء من المنطقة القريبة من اللب (النخاع) ، بينما الأخرى تمتد فقط عبر عدد قليل من الحلقات السنوية المتكونة أخيرا . وهكذا ففى خلال فصل النمو عندما يكون الكامبيوم فى أوج نشاطه يعمل على تكوين خلايا جديدة . يمكن أن نلاحظ فى المقطع العرضى وجود منطقة من خلايا رقيقة الجدران غير ناضجة واقعة بين الخشب واللحاء ، وهى منطقة الكامبيوم Cambial Zone شكل (7 ـ 14) ، ويقدر عرضها بعدة خلايا ، بحيث تتشكل من خلايا أصول الكامبيوم مع مشتقاته من الخلايا التى لاتزال محتفظة بقدرتها على الانقسام أو تلك التى لم تتمايز بعد الى خلايا الخشب أو اللحاء . ومن الصعوبة بمكان تشخيص الكامبيوم نفسه ، حيث إنه يشكل طبقة عرضها خلية واحدة . وكنتيجة لوجود هذه الخلايا غير الناضجة مع الكامبيوم فانها بذلك تشكل منطقة ضعيفة تفصل



شكل (7 ـ 13) رسم تخطيطى يوضح انقسام بوادىء الكامبيوم مع تكون الخشب واللحاء بخلاياهما الام . وتنقسم هذه بدورها ومن ثم تكبر انقساماتها وتصنف الى خلايا الخشب واللحاء الثانويين ويرمز فى الشكل لبداية الكامبيوم بالرمز ci وخلية اللحاء الام (pmc) ولخلية الخشب الام (xmc) وللخشب بالرمز (x) وللحاء بالرمز (p) .



شكل (7ـ14) جزء من قطاع عرضى فى ساق خشبى لنبات ذى فلقتين موضحا نمو وتمايز الخلايا الذى يعقب انقسام الكامبيوم ان الخلايا الناشئة حديثا من الكامبيوم (فى منطقته)قد بدأت لفورها فى النمو ، وبذا حصل من التمايز قليله . بينما نجد الخلايا غير حديثة العهد فى التكوين قد تمايزت تماما .

الخشب عن القلف Bark ، وعليه فان القلف سرعان ماينسلخ عن الغصن أو الفرع أوجذع الساق . وقد تبين أن عملية التقشر هذه لاتحدث عند طبقة الكامبيوم نفسه ولكن من خلال خلايا الخشب الرقيقة الجدران التى توجد الى الداخل من طبقة الكامبيوم ، والتى لم يحدث فيها الى الآن تثخن ثانوى . وعندما يقطع الخشب اللبابى Pulpwood فى الربيع أو بداية الصيف يمكن نزع قلفه بسهولة باليد وذلك بسبب وجود هذه الخلايا الرقيقة الجدران ، ولكن لوقطع هذا الخشب فى فصل آخر عندما يكون الكامبيوم غير فعال فان نزع القلف يتطلب طرقا أخرى .

مقارنة بين النموين الابتدائى والثانوى: Primary and Secondary Growth Compared

لايجوز المبالغة فى ابراز التباين بين تأثير كل من النمو الابتدائى والثانوى على اجتياز النبات لمراحل نموه . فالنمو الابتدائى مسئول عن الزيادة فى الطول على حين أن مسئولية النمو الثانوى تنحصر فى زيادة القطر . ويعتقد أحيانا أن إعوجاج جذع الشجرة أو حتى الكتابة بالحفر على قلف جذعها تصعد الى أعلى الجذع مع استمرار النمو . ويستحيل حدوث ذلك لأن منطقة الاستطالة هى وحدهاالتى يحدث بها النمو الى الأعلى . فبعد حدوث التمايز بين خلايا هذه المنطقة ، يقتصر النمو الذى يلى ذلك المنطقة على النشاط الكامبيومى وحده ، لذا يكون النمو نموا قطريا .

وبما ان النمو الطرفى فى النباتات الخشبية يتم عادة فى بداية فصل النمو فان النمو الجانبى يستمر لفترة أطول بكثير وأحيانا حتى يحل الصقيع . تشكل الأنسجة الابتدائية كمية بسيطة نسبيا من حجم السيقان الخشبية ، أما بعد أن يحدث النمو الثانوى لبعض الوقت فان هذه النسبة تصبح ضئيلة جدا ، وبذلك فانه لايلعب أى دور من حيث الجانب الاقتصادى للنبات . إن النمو الابتدائى فى العديد من النباتات العشبية هو المسئول عن تكون هيكل النبات . كما أن نباتات ذوات الفلقة الواحدة والتى لاتحتوى عادة على الكامبيوم فان أنسجة نباتاتها ذات أصل ابتدائى .

الانسجة الثانوية للساق : Secondary Tissues of the Stem

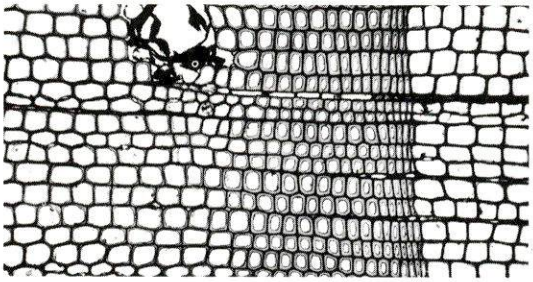
الخشب The Wood

ان تركيب الخشب معقد نوعا ما ويشتمل الخشب على أنواع عديدة من الخلايا ، أغلبها يستطيل رأسيا والخشب الصلد hard wood يدخل فى تركيبه مختلف الانواع من الخلايا بالمقارنة بالنوع الثانى الذى يدعى بالخشب الرخو soft wood ، وللسهولة فسوف نناقش كل نوع من هذين النوعين على انفراد . ويعتبر هذان الاصطلاحان الخشب الصلد والخشب الرخو من الاصطلاحات الشائعة ، وربما يسببان أحيانا بعض الخلط . فأشجار إنتاج الخشب مقصورة الى حد كبير على المخروطيات أو الدائمة الخضرة واشجار ذوات الفلقتين من بين مجموعة النباتات الزهرية . ويدعى خشب المخروطيات بالخشب الرخو ، فى حين أن خشب أشجار ذوات الفلقتين يدعى بالخشب الصلد . وتجدر الاشارة إلى أن بعض أشجار الخشب الرخو تنتج خشبا صلدا بينما ليس جميع أنواع أشجار الخشب الصلد ينتج خشبا صلدا . فمثلا اشجار الشوكران hemlock والصنوبرات الصفراء yellow pines هى من نوع الخشب الرخو softwood ولكن خشبها ربما يكون أكثر صلابة من أخشاب بعض أشجار الخشب الصلد hardwood كالحور poplar والزيزفون الامريكى bass wood .

الخشب الرخو أو خشب المخروطيات : *Soft, or coniferous, wood*

يتألف خشب المخروطيات بشكل اساسى من خلايا تعرف بالقصبات tracheids . فعند ملاحظة المقطع العرضى تحت المجهر نجد أن هذه الخلايا تلتقى فى الزوايا ، وهى متقاربة باحكام مع بعضها . أما المسافات ما بين الخلايا فهى قليلة جدا . كما أن جدرانها الثانوية سميكة نسبيا (شكل : 7 ـ 15) . ومن السهولة بمكان الحصول على قصبة كاملة لدراستها وذلك بوضع قطعة صغيرة من خشب الصنوبر أو من أى نوع آخر من أنواع المخروطيات فى مزيج من حامض الكروميا chromicacid والنتريك nitricacid، حيث يساعد هذا المزيج على اذابة الطبقة الفاصلة بين الخلايا ، وبهذا تنفصل القصبات عن بعضها البعض .

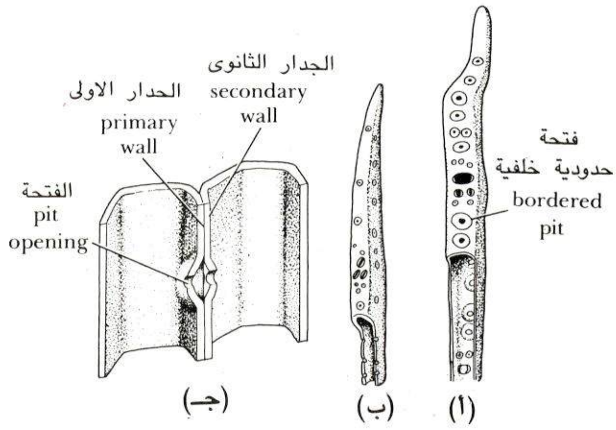
أما بالنسبة لمنظرها الجانبى فتظهر كخلايا ، طويلة ومدببة النهايات (شكل 7 ـ 16) ، كما أن معدل طولها حوالى أربعة ملليمترات . وهى مرتبة بحيث تتراكب نهايات الخلايا مع بعضها البعض ، بمعنى أن حوالى ربع طول الخلية من كلا الجانبين مراكب مع نهايات أطراف الخلايا الاخرى وهكذا. وتتميز القصبات بوجود ثقوب فى جدرانها تدعى بالثقوب الحدية bordered pits ، وهى من النوع الكبير . وتظهر هذه الثقوب فى المقطع الطولى للقصبة على شكل فتحات موجودة فى جدرانها الثانوية . هذا وان منطقة الثقب على الجدار الابتدائى ما هى الا استمرار للفتحة الموجودة فى الجدار الثانوى ، مع وجود تثخن بسيط فى الجزء المركزى للثقب ويلاحظ أن الجدار الثانوى عند منطقة الفتحة من الداخل يكون مقوسا على شكل قنطرة ويمر الماء بسهولة من قصبة إلى أخرى خلال هذه الثقوب عبر المسافات الضيقة للفتحات فى منطقة الجدران الابتدائية . هناك أنواع أخرى من الثقوب توجد بين القصبات من جهة والاشعة الحزمية vascular rays من جهة ثانية ثم بين خلايا الاشعة الحزمية نفسها ويظهر من الفحص المجهرى أن القصبات تتألف فقط من جدران الخلايا ، أما السيتوبلازم والنواة فقد اختفيا بعد اجتياز الخلايا لفترة حياتها المبكرة . وتمتلىء هذه الخلايا غير الحية بالماء أو الهواء والقصبات بالاضافة إلى تراكيبها التى تكون على شكل انابيب لنقل الماء من الجذور إلى الاوراق فإنها تساعد أيضا فى عملية الدعم وهى التى تشكل النظام الهيكلى للشجر المخروطى . ان هذه الخلايا غير الحية ذات الجدران السميكة تمكن الاشجار الضخمة من أنواع الصنوبريات pines والتنوب firs والخشب الاحمر red wood من تحمل الوزن الهائل للأوراق والأغصان بالاضافة الى ما تحمله أحيانا من الثلوج وكذلك مقاومة تأثير الرياح .



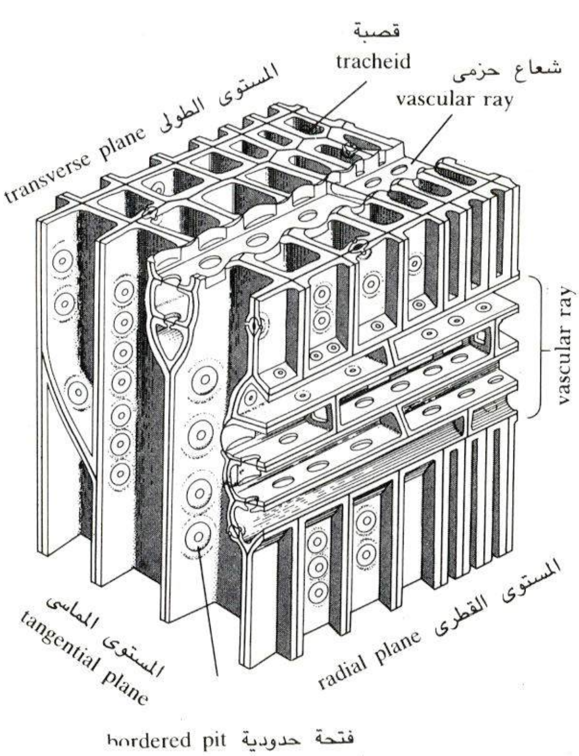
شكل (7ـ15) قطاع عرض يوضح قصبات خشب الصنوبر الاحمر red pine (Pinus resinose)

وتعتبر القصبات من النوع البدائى كخلايا توصيل . **ولا يقتصر وجودها على النباتات البذرية بل هى موجودة ايضا فى السرخسيات ferns والحزازيات الصولجانية club mosses وفى نباتات وعائية اخرى واطئة lower vascular plants** إحدى الصفات المميزة للخشب الرخو هى وجود الأشعة الحزمية vascular rays شكل (7 ـ 17) التى تمتد بخطوط شعاعية نصف قطرية ابتداء من منطقة اللب مارة خلال الخشب الى داخل اللحاء . واغلب خلايا هذه الاشعة هى خلايا برنشيمية ، وتتواجد وتعيش فى الخشب العصارى sap wood ، وتحتوى على أنوية وسيتوبلازم . والأشعة فى خشب المخروطيات تشكل نسبة تصل إلى 8٪ من حجم الخشب .

ولفهم تركيب الأشعة من جهة والخشب بشكل عام تتحتم دراسة الخشب فى ثلاثة مستويات أو مقاطع (شكل . 7ـ17 ، 7ـ18 ، 7ـ22 ، 7ـ23) فالخشب يمكن دراسته ليس على أساس منظره فى المقطع العرضى فقط cross (transverse) section ، ولكن أيضا فى المقطعين الطوليين Longitudinally وهما المقطع الموازى للاشعة والعمودى على الاشعة . فلو نظرنا الى المقطع العرضى لخشب الصنوبر (شكل 7ـ15 ، 7ـ17) لوجدنا أن سمك الاشعة هو خلية واحدة فقط ، فى حين أننا لو نظرنا فى المقطع الطولى الموازى للاشعة radial plane لوجدنا أن الشعاع مؤلف بسمك عدة خلايا ، حيث تظهر تحت المجهر شبيهة بشريط ضيق يمر خلال الخشب . ويظهر المقطع الطولى المتعاقد على أشعة

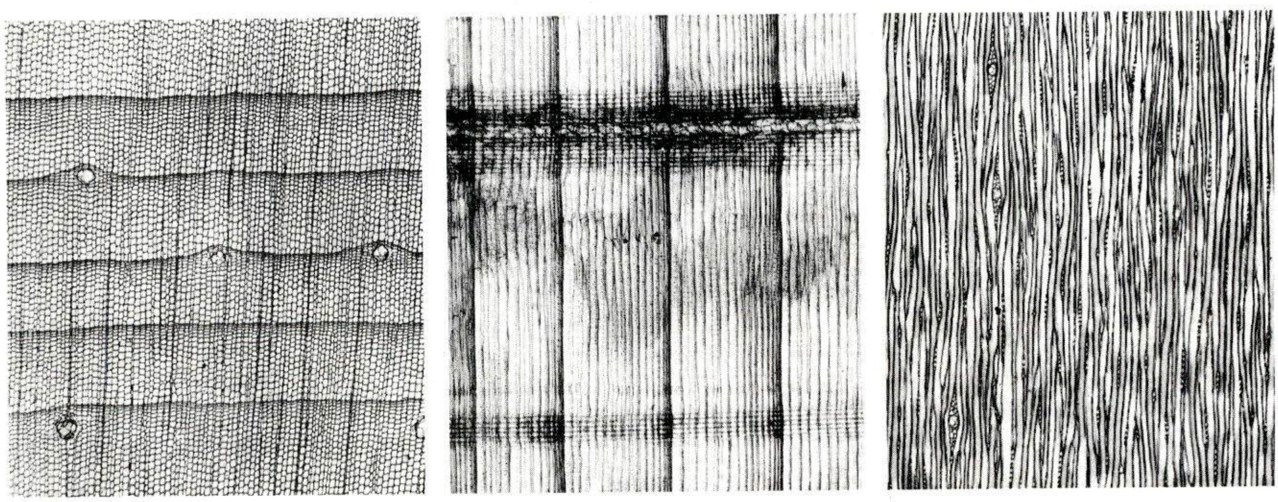


شكل (7 ـ 16) أ ـ طرف قصبة الخشب الربيعى فى الصنوبر الابيض white pine (Pinus strobus)
ب ـ قمة قصبة الخشب الصيفى لنفس الشجرة
جـ ـ جزء من قصبتين متجاورتين موضحا البنية التفصيلية لفتحة حدودية او جانبية bordered pit تظهر على القطاع .



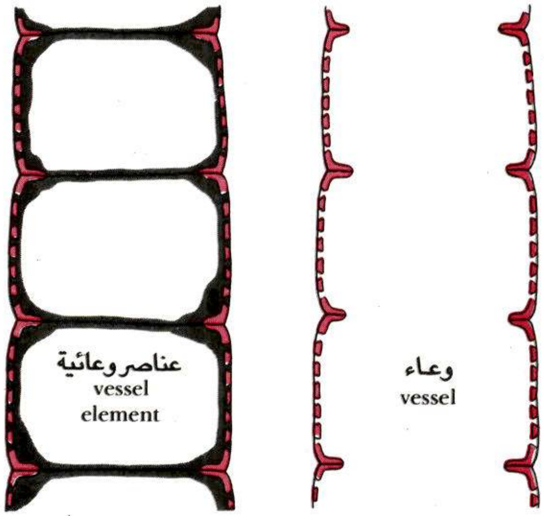
شكل (7 ـ 17) قطعة من خشب الصنوبر بالرسم المنظور جدا بتكبير عال

شكل (7 ـ 18) خشب الصنوبر الابيض white pine (Pines strobus) مصورا فى ثلاثة مستويات : من اليسار الى اليمين قطاع عرضى ، قطاع قطرى ، قطاع مماسى .

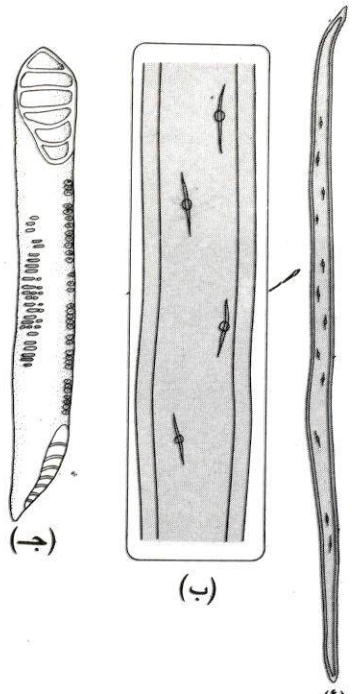


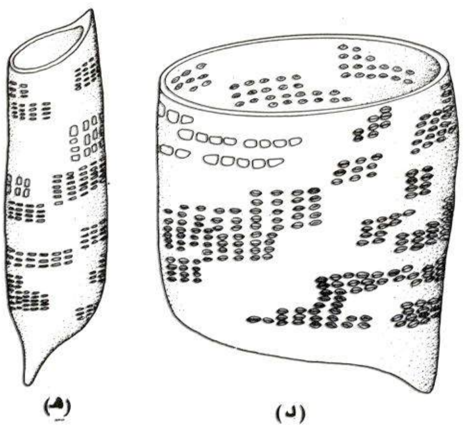


شكل (7 ـ 19) خدش الصنوبر الجنوبى فى ولاية جورجيا للحصول على المواد الراتنجية

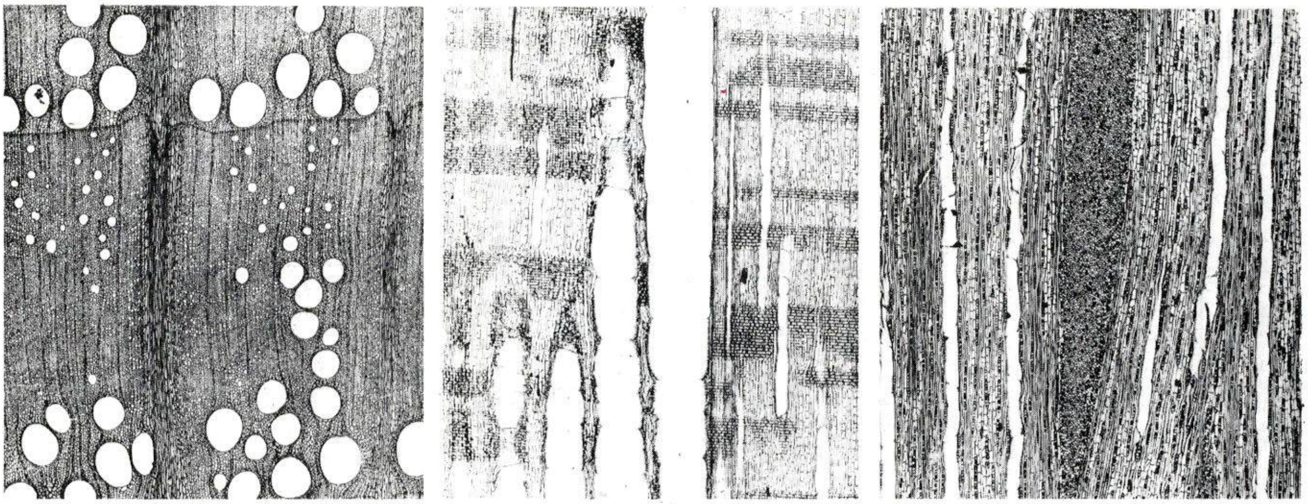


شكل (7ـ21) نشوء الوعاء (اليسار) عناصر وعائية مرتبة فى سلسلة طولية . نلاحظ ان الجدران الافقية اولية فقط . (اليمين) تحلل الجدران الاولية .





شكل (7 ـ 20) خلايا من خشب ذوات الفلقتين
أ ـ احدى الياف نبات الحور الزنبقى
tulip poplar (liriodendrom tulipifera)
ب ـ جزء من ليفة مكبرة وتوضح عليها الفتحات
جـ ـ عنصر وعائى من نفس الخشب
د ـ عنصر وعائى من خشب البلوط الفتى
هـ ـ عنصر وعائى من خشب البلوط البالغ



شكل (7ـ22) خشب البلوط الاحمر (Quercus rubra) red oak ذو المسام الحلقية ، مصورا فى ثلاث مستويات (اليسار) قطاع عرضى (الوسط) قطاع قطرى ، (اليمين) قطاع مماسى
لاحظ الشعاع الكبير الاوحد وتعدد الاشعة الصغرى .

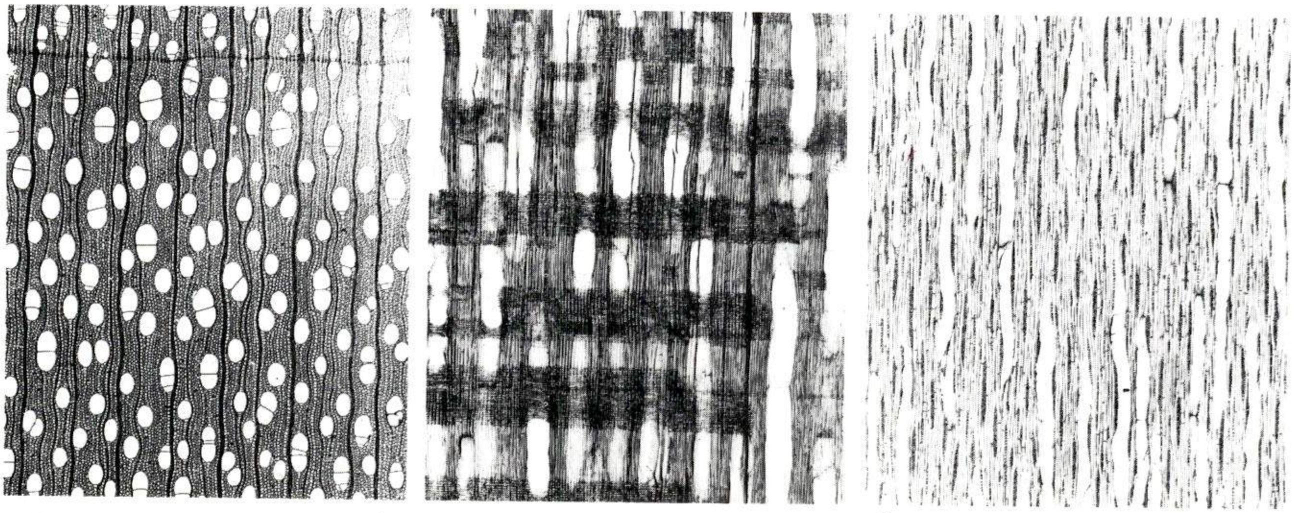
الخشب ، هذه الاشعة فى مجموعة من ثلاث إلى عشر خلايا أو حتى أكثر ، تنتظم رأسيا داخل الخشب وبشكل عام فإن أشعة الخشب الرخو تكون مؤلفة بسمك خلية واحدة فقط مع أنه فى بعض أنواع قليلة يكون الشعاع الوسطى بسمك خليتين .

توجد قنوات منتشرة افقيا خلال الخشب والقلف لبعض أنواع المخروطيات ، كالصنوبر pines وتنوب دوجلاس Douglas fir والارزية Larch والبيسية (التنوب الفضى spruce(وجميعها أشجار من العائلة المخروطية) ، تدعى بالقنوات الراتنجية resin canals شكل (7ـ15 ، 7ـ18) . وهى غير موجودة تقريبا فى الانواع الاخرى من الخشب . فالقنوات الافقية تمر من خلال بعض أشعة الخشب وهى ترتبط مع القنوات الرأسية مشكلة نظاما يدعى بالنظام الرابط connective system وتمر القنوات بمحاذاة خلايا حية تفرز مواد راتنجية تدعى بالراتنج الزيتى oleoresin . ومن هذه المادة يمكن استخراج زيت التربنتينا turpentine ومادة صفراء صلبة تدعى راتنج القلفونية rosin التجارى . ويجنى الراتنج الزيتى تجاريا على طريق عمل قطع خلال القلف يمتد إلى داخل الخشب الخارجى لأشجار الصنوبر الجنوبية ثم توضع أوانى تحت القطع لجميع ما يتقطر الراتنج (شكل : 7 ـ 19) ومن ثم تقطر المادة لفصل زيت التربنتينا .

الخشب الصلد أو خشب ذوات الفلقتين: *Hard, or dicotyledonous, wood*

القصبات فى خشب المخروطيات تقوم بوظيفتين : التوصيل والدعم ، ولكن فى الاخشاب الصلدة توجد أنواع أخرى من الخلايا تقوم بأداء هذه الوظائف فإلى جانب القصبات هناك ألياف الخشب wood fibers التى هى عبارة عن خلايا من نفس الشكل تقريبا ولكنها تعتبر متحورة . وهذا النوع من الخلايا يعتبر الاكثر شيوعا . فللالياف تجاويف cavities أضيق مما هو موجود فى القصبات ، بالاضافة إلى أنها أطول من القصبات ولها نهايات حادة أكثر من نهايات القصبات كما أن الثقوب الموجودة فى الألياف أصغر بكثير من الثقوب الموجودة فى جدران القصبات (شكل 7 ـ 20 أ , ب) وصغر هذه الثقوب يرجع إلى أن الماء لا يمر من خلال هذه الخلايا أو أنه يمر بكميات قليلة . ولذلك فإن وظيفة الألياف مقصورة على الدعم الميكانيكى .

تقوم الأوعية vessels بعملية توصيل الماء . ويتشكل الوعاء الحديث النمو من مجموعة خلايا رأسية حيث تمثل هذه الخلايا عناصر الوعاء vessel elements فعندما تكبر هذه الخلايا يزداد سمك جدرانها وذلك باضافة جدار ثانوى إلى جدارها الابتدائى ماعدا مناطق النهايات التى لا يحدث



شكل (7ـ23) خشب البتولا river birch (Betula nigra) ذو المسام الانتشارية (اليسار) قطاع عرضى (الوسط) قطاع قطرى ، (اليمين)

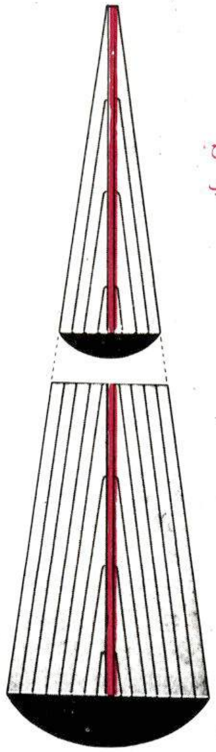
فيها تثخن ، حيث يظهر ثقوب فى هذه النهايات (شكل : 7 ـ 21) . وعندما يصل عنصر الوعاء إلى مرحلة النضوج ويختفى البروتوبلاست ثم تتكسر الجدران الابتدائية لنهاياتها مكونة تركيبا شبيها بالانبوب يسمى بالوعاء . وربما تستطيل الثقوب وتنقسم بواسطة حواجز عرضية . لبعض عناصر الوعاء نهايات مائلة بينما عناصر أخرى تكون نهاياتها متعامدة على الجدران الجانبية (شكل : 7 ـ 20 جـ . د . هـ) . عناصر الوعاء مزودة بثقوب على جدرانها الجانبية ، تعمل هذه الثقوب على التوصيل ما بين عناصر الوعاء وعناصر الوعاء المجاور وكذلك مع الاشعة ومع الخلايا الأخرى فى الخشب .

إن وجود الأوعية يمثل إحدى الصفات التى تميز الخشب الصلد (شكل 7 ـ 22 ، 7 ـ 23) عن الأخشاب الرخوة . يمكن رؤية الأوعية فى المقطع العرضى بالعين المجردة أو بواسطة استعمال عدسة يدوية كفتحات صغيرة أو وخزات الدبوس فى الخشب وتتشابه الألياف والاوعية مع القصبات حيث إنها تموت وتفقد محتوياتها البروتوبلازمية عند نضوجها .

أشعة الخشب الصلد تختلف عادة عن الأشعة الموجودة فى الخشب الرخو . ففى بعض الاخشاب الصلدة كما هو فى الخشب الرخو يكون سمك الشعاع خلية واحدة فى العرض فقط وعدة خلايا فى الارتفاع ولكن الاكثر شيوعا هو أن سمك الشعاع يتجاوز الخلية الواحدة إلى العديد من الخلايا (فى العرض) وإلى عدد أكبر فى الارتفاع يمتد إلى مسافة لا بأس بها داخل الخشب وإن كلا من الأشعة الضيقة والواسعة يمكن أن توجد سوية فى خشب من نفس النوع ، بعض الأخشاب كالبلوط تكون الاشعة فيها واسعة كثيرا بحيث تظهر بجلاء للعين المجردة وتشكل الاشعة فى الخشب الصلد نسبة حوالى 17٪ من حجم الخشب .

حلقات النمو : Growth Rings يتصف خشب أشجار المناطق الحارة بوجود طبقات تمثل كل طبقة منها عادة الخشب المتكون خلال فصل نمو واحد . وتظهر هذه الطبقات فى المقطع العرضى لفرع او لساق (عند طرفه) كسلسلة من حلقات متعددة المركز تدعى بحلقات النمو أو بالحلقات السنوية growth or annual rings وكل حلقة نمو تتكون من طبقة داخلية تتكون مع بداية فصل النمو تسمى بالخشب الربيعى early or spring wood ، ومن طبقة خارجية تكونت فيما بعد تدعى بالخشب الصيفى late or summer wood . ويمكن لخلايا الخشب التى تكونت فى بداية فصل النمو ان تكون مختلفة عن تلك الخلايا الخشبية التى تكونت فيما بعد وذلك من حيث النوعية والنظام والحجم وكذلك تختلف فى سمك جدرانها .

ويتألف الخشب الربيعى للمخروطيات من قصبات ذات جدران رقيقة وذات تجاويف واسعة بالمقارنة مع الخشب الصيفى عند النظر اليها فى مقطع عرضى ، وهى ليست مدببة النهايات ولكنها مستوية . وكنتيجة لهذه الاختلافات فان الخشب الصيفى يظهر اكثر كثافة اى ان خلاياه تكون متقاربة جدا وذات لون قاتم بالمقارنة مع الخشب الربيعى لذا يسهل التمييز بينهما . فالخشب الصلد hard wood يمكن تصنيفه الى مجموعتين كبيرتين على اساس حجم الاوعية المتكونة خلال حلقة نموه ففى بعض انواع الخشب الصلد تكون الاوعية المتكونة فى بداية فصل النمو اكبر بكثير من تلك التى تتكون فى نهاية فصل النمو ، كما يكون الانتقال من نوع الى آخر انتقالا فجائيا ويدعى مثل هذا الخشب بالحلقى المسامى ring porous وكأمثلة على ذلك نذكر البلوط (شكل 7 ـ 22) والمران والدردار والخرنوب الاسود black locust والجوز الامريكى والكتالبا catalpa . وبسبب الاختلاف فى حجم الاوعية بين الخشب المتكون فى بداية فصل النمو ونهايته فان هاتين المنطقتين من الحلقة يمكن تحديدهما بوضوح . ويستخدم العديد من انواع الاخشاب المسامية فى رصف ارضية الحجرات وكذلك فى صناعة الاثاث المنزلى . وبما ان الاوعية المتكونة فى بداية فصل النمو تكون واسعة كثيرا فلذلك يتحتم ملؤها بمادة مالئة قبل دهنها بالورنيش او الشمع . اما المجموعة الثانية من الاخشاب فتشمل انواعا عديدة اكثر من الاولى حيث تتشابه احجام اوعيتها فى حلقة النمو ويسمى هذا النوع من الخشب بالمسامى المشتت diffuse porous ومن الامثلة عليها البتولا (شجرة التامول) birch (شكل 7 ـ 23) والقيقب maple والزان beech والحور الاصفر Yellow poplar والسيكامور cycamore واخيرا الزيزفون الامريكى baswood . وبما انه لا يوجد اختلاف فى حجم الاوعية فى نفس الحلقة نواجه صعوبة فى التمييز بين الخشب المتكون فى بداية فصل النمو ونهايته . كما انه فى جميع الاخشاب الصلدة لا يتعدى سمك منطقة الخشب المتكون فى نهاية فصل النمو عدة خلايا فقط وتتألف بصورة رئيسية من خلايا صغيرة ذات جدران سميكة تشكل طبقة رقيقة تقع بمحاذاة الخشب الذى يتكون فى بداية فصل النمو القادم لحلقة النمو التالية . وهناك العديد من النظريات التى تفسر الاختلاف فى حجوم خلايا الخشب الربيعى



شكل (7ـ24) رسم تخطيطى يوضح الشكل المخروطى للنمو السنوى للخشب كما يظهر فى القطاع الطولى



شكل (7ـ25) قطاع عرضى فى جذع شجرة صنوبر البونديروزا Ponderosa Pine ويوضح الزيادة الشديدة فى عرض حلقات النمو بعد قطع الاشجار المجاورة للنبات . يبين احصاء عدد الحلقات المتكاثفة ان معدل النمو كان بطيئا لمدة 54 عاما .

والخشب الصيفي . فقد اعتقد الباحثون القدماء ان ذلك يرجع الى انخفاض الامداد بالماء أو الغذاء الى الكامبيوم ومشتقاته المباشرة ، اما بالنسبة الى المفهوم السائد الآن فهو ان الذى يتحكم فى النشاط الكامبيومي وتكوين الخشب هى هرمونات النمو التى تنتقل أو التى تصل اليه من الاعلى ، حيث تنتج فى القمم المرستيمية والمناطق ذات النمو السريع التى هى تحت القمم مباشرة وكذلك فى الاوراق النامية . ومن المعروف الآن بشكل مؤكد ان التحول فى منطقة الخلايا الواسعة (ذات الاقطار الكبيرة) المتكونة فى بداية فصل النمو الى منطقة الخلايا الصغيرة (ذات الاقطار الصغيرة) يرتبط بالنقص التدريجي الذى يحصل فى تجهيز مواد النمو وكذلك بالزيادة فى كمية السكر كلما تقدم فصل النمو واخيرا بالانخفاض فى نسبة نمو البراعم والاوراق .

فالزيادة التى تحصل فى النمو سنويا تظهر عادة عند قطع الشجرة على شكل حلقات ، وكل حلقة من هذه الحلقات هى فى الواقع تمثل المقطع العرضي فى مخروط مجوف (شكل 7 ـ 24) داخله كل خشب الشجرة الذى يتكون سابقا ليس فقط بالنسبة الى السيقان والافرع ولكن الجذور ايضا . وكلما ازدادت الشجرة ارتفاعا كلما قل قطر جذعها عند القمة حتى يصل الى نفس قطر غصن فى القمة . وتختلف المخاريط ارتفاعا من أقدمها الذى لا يتجاوز بضع بوصات والذى يمثل الخشب المكون فى مرحلة البادرة الى احدثها الذى هو بطول الشجرة .

ويمكن تقدير عمر الشجرة بشكل تقريبي جدا عن طريق حساب عدد الحلقات فى المقطع العرضي للشجرة . وحتى نكون دقيقين فى ذلك فانه يجب عمل القطع قدر الامكان قريبا من قاعدة الشجرة لأن عدد الحلقات يتغير بتغير ارتفاع المقطع عن القاعدة . ويمكن ان يحدث احيانا مغالاة فى تقدير عدد الحلقات . ومرجع ذلك بسبب الحلقات التى تتكون نتيجة لانخفاض مؤقت فى النمو يحدث خلال فصل النمو . حيث تتكون منطقة من الخشب الصيفي غير محددة المعالم فى نفس حدود حلقة النمو . ومن بين العوامل التى تسبب الخطأ فى تقدير عمر الشجرة هو الجفاف وتجريد الحشرات للشجرة من اوراقها .

ويختلف عرض كل حلقة عن الحلقة الاخرى كثيرا ، وقد بذل مجهود كبير للتوصل الى معرفة العلاقة بين هذه الاختلافات التى تحصل فى عرض الحلقات وبين تأثير البيئة المحيطة . ومن بين العوامل المحيطة تأثير الضوء والحرارة والامطار ورطوبة التربة وطول موسم النمو والمنافسة على الغذاء . فالمنافسة أو المزاحمة لهما تأثير كبير على الاختلافات فى عرض الحلقات . ومثل هذا التأثير يظهر واضحا فى الشجرة المحاطة باشجار كثيرة حيث يبطأ النمو وبذلك ينعكس على الحلقات بان تكون ضيقة نسبيا . فلو قطعت الاشجار القريبة منها او المحيطة بها فان نسبة النمو تزداد وان الحلقات المتكونة بعد ذلك يمكن ان تكون اعرض من التى قبلها بعدة مرات (شكل 7 ـ 25) . ويعزى سبب هذه الزيادة فى عرض الحلقات الى حد ما الى زيادة شدة الضوء الساقط على الاوراق مما يؤثر بدوره على زيادة كمية الغذاء المتكون كذلك يرجع قسم من هذه الزيادة الى قلة مزاحمة الجذور فى امتصاص الماء والعناصر المعدنية فى التربة .

بصورة عامة عندما تكون الظروف المحيطة ملائمة تصبح الحلقات واسعة وبالعكس اذا كانت الظروف غير مواتية . وقد وجد فى بعض المناطق ان هناك علاقة وثيقة جدا بين كمية الامطار الساقطة وسمك الحلقات . حيث يمكن ملاحظة هذه الحالة فى هذه المنطقة شبه الجافة الواقعة فى الجنوب الغربي للولايات المتحدة حيث تأثير سقوط الامطار يكون كبيرا على تغير المناخ . اما فى المناطق التى يكون فيها سقوط الامطار منتظما فيبطل مفعول هذه العلاقة . والامطار بصورة خاصة فى المناطق الجافة ليست منتظمة فى دورات ، ولهذا فإن طريقة النمو تختلف هى الاخرى بنفس الصورة . فلو تم العثور على تماثل فى نمو الحلقات الداخلية للشجرة الحية مع الحلقات الخارجية للجذوع المستخدمة فى النباتات القديمة أو الاثرية وفى نفس المنطقة لكان بالإمكان تحديد عمر هذه النباتات .

لقد وجد عن طريق دراسة حلقات النمو للأشجار الحية ومقارنتها مع أخشاب النباتات التى مضى عليها حين من الدهر ، أن احدى قرى الهنود الحمر فى اريزونا ونيومكسيكو كانت قد شيدت منذ 1900 سنة قبل الميلاد . كما تم التعرف على فترة الجفاف الخطير الذى حدث فى سنوات 840 و 1067 و 1379 ثم 1932 وذلك من خلال دراستنا لحلقات النمو حيث كانت هذه الحلقات ضيقة جدا فى هذه التواريخ . ثم أن كارثة الجفاف التى بدأت فى سنة 1276 واستمرت لمدة 23 سنة كانت سببا فى حدوث مجاعة فى الولايات المتحدة الامريكية تم خلالها النزوح عن أغلب القرى العريقة .

الخشب الصميمي والخشب العصاري : Heartwood and Sapwood

تطرأ بعض التغيرات فى الجزء الداخلي من الساق كلما زاد عمر الشجرة . ونتيجة لهذه التغيرات يتكون الخشب

الصميمى . وغالبا ماتتميز هذه المنطقة من الخشب عن الجزء الخارجى الذى يغنى به الخشب العصارى بلونها الداكن (شكل 7 ـ 26) . وينتج اللون الداكن هذا (للخشب الصميمى) عن تغيرات كيميائية وعن ترشيحة للزيوت والاصماغ gums والتانينات tannuns والمواد الراتنجية resins ومركبات عضوية معقدة أخرى وتجمعها فى الجدران الخلوية . كما يمكن لهذه المواد أن تتجمع أيضاً فى فجوات الخلايا وفى بعض الأخشاب كالجوز الأسود black walnut والساج teak وخشب الأرز الأحمر red ceder والخشب الأحمر red wood . يكون الخشب الصميمى واضحا ومتميزاً نتيجة لشدة اللون فى حين أن التميز بين لون الخشب الصميمى والخشب الرخو فى أخشاب أخرى كالتنوب والحور والزيزفون يكون صعبا أو حتى لايوجد أصلا .

وكلما تقدم عمر الشجرة فإن القسم الداخلى من الخشب العصارى يتحول إلى الخشب الصميمى . وهكذا يزداد نصف قطر الخشب الصميمى كلما تقدم عمر الشجرة فى حين أن الخشب العصارى يبقى كما هو تقريبا . ويدوم الخشب



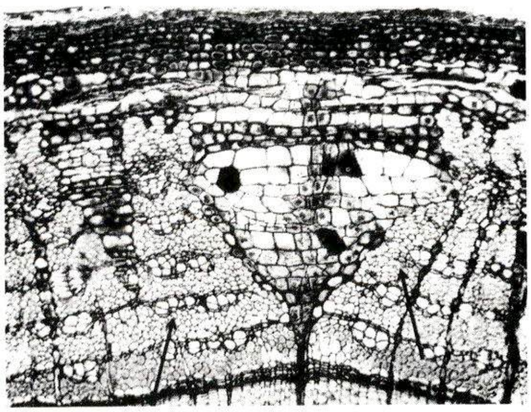
شكل (7ـ26) الخشب الصلد hard Wood والخشب العصارى Sapwood فى شجرة البلوط الابيض (Quercus alba) White oak المساحة المعتمة تمثل الخشب الصلد فى حين ان المساحة الافتح تمثل الخشب الرخو .

الصميمى عادة بسبب تحمله ، لعدة سنوات ، ويعمر احيانا طوال حياة الشجرة . قد يتفسخ قسم من الخشب الصميمى وحتى كله نتيجة لنشاط بعض الفطريات ، ومن ثم يصبح جذع الشجرة أجوف ، ومع ذلك يمكن لمثل هذه الشجرة أن تستمر فى النمو لسبب واحد هو أن الخشب الصميمى لايشارك فى عملية نقل الغذاء .

القلف : The Bark الجزء الذى يغطى الخشب من الخارج هو الكامبيوم ذو الجدران الرقيقة . ويشكل القلف المنطقة التى تقع الى الخارج من الكامبيوم . وهو يشبه الخشب من حيث أنه يتألف من عدة أنواع من الأنسجة .

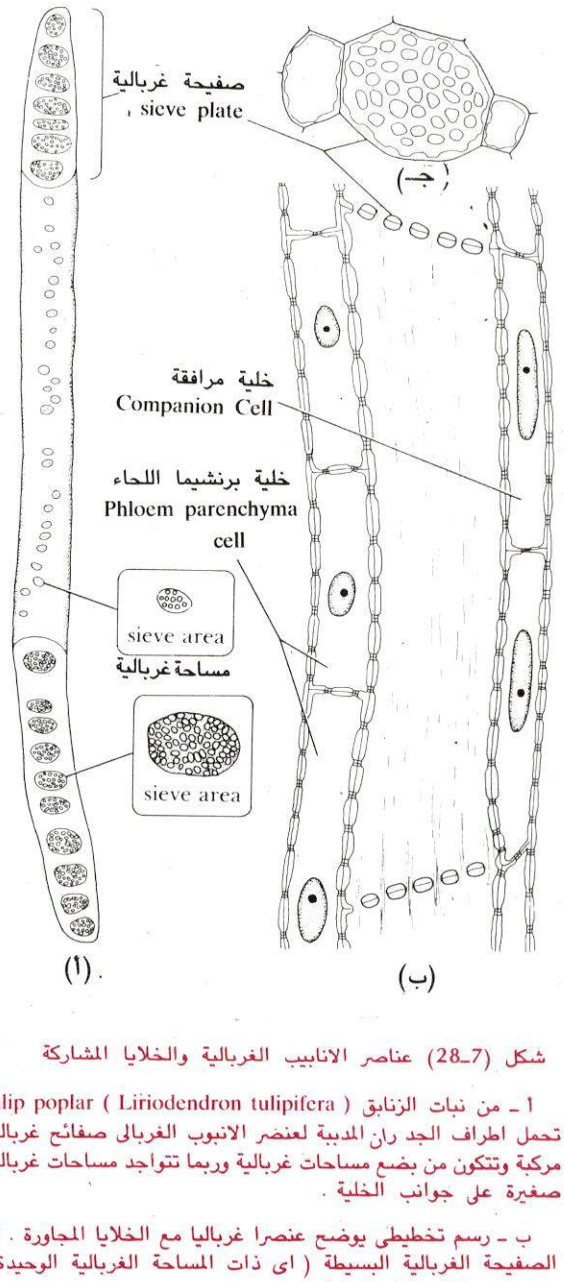
اللحاء : ***Phloem*** خلايا اللحاء تتألف من عدة أنواع من الخلايا وهذه الخلايا تبطن القلف ، وهى واقعة خارج الكامبيوم مباشرة . وإن الشىء الواضح فى اللحاء هى الاشعة الحزمية vascular rays ، التى تعتبر امتدادات للاشعة الحزمية فى الخشب عبر الكامبيوم . وعادة يكون جزء الشعاع الذى يمر من خلال نسيج اللحاء أعرض منه فى منطقة الخشب . ولكن أشعة اللحاء فى بعض الأشجار كالزيزفون والحور الخزامية tulip poplar والجوز الامريكى تكون على شكل حرف (V) . عند فحص المقطع العرضى ، ونتيجة للانقسام نصف القطرى للخلايا القديمة من الأشعة (شكل 7 ـ 27) . وأكثر صفات اللحاء أهمية بالنسبة للنباتات الزهرية

شكل (7ـ27) جزء من قطاع عرضى لخشب شجرة التيليا bass wood (Tilia americana) يوضح الشكل الاشعة على شكل حرف V فى اللحاء . تشير الاسهم الى الياف اللحاء .



هى وجود الأنابيب الغربالية sieve tubes ومن خلالها يتم نقل الغذاء رأسيا . والأنابيب الغربالية كما سبق ذكرها فى الفصل ـ 5 تتألف من العديد من عناصر الانبوب الغربالى sieve – tube elements . وتكون متصلة مع بعضها عند نهاية كل منها (شكل 7 ـ 28) . أما جدرانها الابتدائية فسميكة نسبيا ، على حين لاتوجد لها جدران ثانوية عموما . أما بالنسبة إلى نهايات عناصر الانبوب الغربالى فهى إما مائلة أو عرضية (افقية) واحدى أكثر الصفات البارزة لهذه الخلايا هى وجود المساحات الغربالية sieve areas التى هى الى حد ما عبارة عن مساحات جدارية منغمسة فيه ، وهى ذات ثقوب متعنقدة (على شكل عنقود) . وإن أكثر هذه المساحات الغربالية تطورا هى تلك الموجودة فى الجدران المائلة أو المستعرضة لنهايات الخلايا والتى تدعى بالصفائح الغربالية sieve plates (شكل 7 ـ 28) . فلو تألفت الصفيحة الغربالية من أكثر من مساحة غربالية سميت إذ ذاك ـ بالصفيحة الغربالية المركبة compound sieve – plate . أما إذا كانت تتكون من مساحة غربالية واحدة فتسمى بالصفيحة البسيطة simple sieve – plate . وتوجد المساحات الغربالية أيضاً على الجدران الجانبية لعناصر الأنبوب الغربالى فى العديد من النباتات ، ولكن الثقوب الموجودة فيها عادة تكون أصغر من الموجودة فى الصفائح الغربالية . ويمر الغذاء من خلال ثقوب الصفائح الغربالية من عنصر غربالى إلى آخر .

واللحاء يحتوى بالاضافة إلى الانابيب الغربالية والأشعة الحزمية على خلايا مرافقة companion cells وخلايا برنشيمية لحائية phloem parenchyma وألياف سكلرنشيمية sclerenchyma (شكل 7 ـ 29) . ويرافق كل عنصر غربالى خلية أو أكثر من الخلايا المرافقة وترتبط هذه الخلايا مع العنصر الغربالى بواسطة خيوط سيتوبلازمية دقيقة تسمى بالروابط البلازمية plasmodesmata تمر من خلال مساحات رقيقة للخلايا المتجاورة . وتنشأ الخلايا المرافقة عادة من نفس خلايا الأم للحاء phloem mother cells ، كما هو بالنسبة إلى عناصر الأنبوب الغربالى . حيث تنقسم الخلية الأم طوليا انقساما واحدا أو عدة انقسامات وتصبح احدى هذه الخلايا عنصرا غرباليا . أما الخلايا الأخرى فتتحول الى خلايا مرافقة . ثم يحدث انقسام مستعرض ينتج عنه صف أو



شكل (7ـ28) عناصر الانابيب الغربالية والخلايا المشاركة

أ ـ من نبات الزنابق (tulip poplar (Liriodendron tulipifera تحمل اطراف الجد ران المدببة لعنصر الانبوب الغربالى صفائح غربالية مركبة وتتكون من بضع مساحات غربالية وربما تتواجد مساحات غربالية صغيرة على جوانب الخلية .

ب ـ رسم تخطيطى يوضح عنصرا غرباليا مع الخلايا المجاورة . ان الصفيحة الغربالية البسيطة (اى ذات المساحة الغربالية الوحيدة) توجد على كلا طرفى الخلية .

ج ـ صفيحة غربالية بسيطة والخلايا المجاورة كما تظهر فى القطاع العرضى .

صفان من خلايا مستطيلة (شكل 7 ـ 28) . أما بالنسبة إلى موقع الخلايا البرنشيمية والتى يمكن أن تحوى النشاء ومواد عضوية أخرى فيكون بين عناصر الانبوب الغربالى . وترتبط هذه الخلايا فيما بينها مع خلايا الأشعة والخلايا المرافقة بواسطة البلازما ديسماتا (الروابط البلازمية) plasmodesmata .

كما يتميز عنصر الانبوب الغربالى بصفة فريدة وهى أن النواة تتحلل عادة خلال المراحل الاخيرة فى التمايز، اما الخلية فتبقى حية . من المحتمل ان انوية الخلايا المرافقة المجاورة لها تساعدها على الاحتفاظ بحيويتها، والشىء الاخر الذى يحدث ايضا فى العادة هو اختفاء غشاء الفجوة بتحلله، وان الشىء الذى يبقى فى الخلية هو غشاء رقيق من السيتوبلازم يبطن جدار الخلية من الداخل. وان محتويات عنصر الانبوب الغربالى التى تشتمل على مادة غروية بروتينية يمكن رؤيتها فى مستحضرات المجهر العادى على شكل كتلة مكثفة، موجودة على شكل سدادة غروية فوق الصفائح الغربالية، بحيث تملأ الثقوب كلية، ولاتوجد هذه السدادة الغروية بهذا الشكل فى الانسجة التى لم تحدث فيها تغيرات من هذا النوع، بل توجد على شكل شبكة ممطوطة داخل الخلية، ويعتقد بعض الباحثين ان اجزاء فى هذه الشبكة والتى هى على شكل اشرطة دقيقة تمتد خلال ثقوب الانبوب الغربالى العامل وتغلق بذلك ثقوبها جزئيا، فى حين يؤكد اخرون ان هذه الثقوب تكون مفتوحة تماما طوال فترة حياتها الوظيفية.

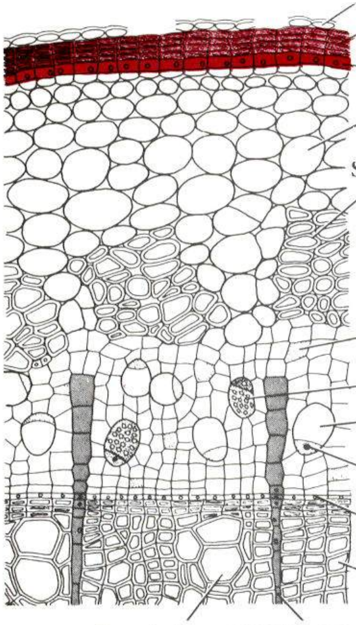
توجد خلايا، فى المخروطيات ونباتات وعائية اخرى، شبيهة بعناصر الانبوب الغربالى.مثل هذه الخلايا تكون مطولة ومستدقة الطرفين ومتراكبة من بعضها وهى غير منتظمة على شكل سلسلة النهاية بالنهاية. وتوجد فيها مساحات غربالية ولكنها غير متجمعة فى صفائح غربالية والتى هى صفة من صفات مغطاة البذور angiosperims فقط.الحياة الوظيفية لعناصر الانبوب الغربالى تكون قصيرة عموما لفصل نمو واحد فقط، وبعد ذلك يتغير نظامها ويصبح وجودها بدون نظام، كما ويحدث ايضا ان الانابيب الغربالية فى العديد من النباتات تتحطم فى آخر الامر نتيجة للضغط الذى تتعرض له من جميع جهاتها . واللحاء الذى يقوم بوظيفة التوصيل ينحصر بمنطقة ضيقة لاتتجاوز عادة المليمتر فى عرضها وهى واقعة خارج الكامبيوم مباشرة كما نجد فى بعض الاشجار كالزيزفون (linden tilia) ، ان عناصر الانبوب الغربالى فيها تستطيع العمل كموصل للغذاء لمدة تتراوح بين خمس سنوات الى عشر. والمدهش اكثر هو ان هذه الخلايا، اى خلايا اللحاء، تبقى حية ولمدة طويلة فى ذوات الفلقة الواحدة، التى يغيب فيها الكامبيوم، المسئول فى حالة وجوده عن تكوين لحاء ثانوى جديد، لذلك فان النبات يعتمد على الانابيب الغربالية الابتدائية الاصلية الموجودة فى الاجزاء القديمة من الساق، لقد وجد ان عناصر انبوب غربالى فى احدى اشجار النخيل قد مضى عليه على اقل تقدير 50 سنة، ومايزال يقوم بوظيفته على اتم وجه، كذلك يوجد فى انواع اخرى ان الحياة الوظيفية لهذه العناصر يمكن ان تمتد حتى 100 سنة.

الالياف السكلرنشيمية عندما توجد فى اللحاء تدعى بالياف اللحاء PHLOEM FIBERS. ومن المألوف كثيرا مشاهدتها، فى المقطع العرضى على شكل قبعات فوق اللحاء (شكل 7 ـ 29). واصل هذه الالياف هو من نسيج الكامبيوم الاولى procam-bium tissue ، ولذلك فهو ابتدائى المنشأ، والالياف فى العديد من الانواع الخشبية توجد ايضا كمجموعات او حزم منتشرة داخليا بين الانابيب الغربالية أو بين خلايا اللحاء البرنشيمية (شكل 7 ـ 27) وتعتبر هذه الالياف ثانوية المنشأ، حيث انها تكونت بواسطة الكامبيوم الحزمى vascular cambium . كما ان الياف اللحاء مع بعض الانواع الاخرى من الخلايا السميكة الجدران هى المسئولة عن صلابة وقوة القلف فى العديد من انواع النباتات الخشبية، فالالياف المستخرجة فى الوقت الحاضر من قلف النباتات الخشبية تستخدم على نطاق ضيق جدا، ولكنها فى الماضى كانت تستخدم فى صناعة الملابس وكذلك فى مواد الكتابة، فمثلا الورق المصنوع فى جزر المحيط الهادى من مسحوق لحاء توت الورق paper mulberry ، هو من الرقة بحيث امكن استخدام هذه الصفائح الناتجة فى صناعة الملابس، وقد بدأ الصينيون والكوريون فى استخدام لحاء نفس هذه الاشجار كمواد للكتابة مع بداية التقويم الميلادى هذا، وقد كتب الرومانيون القدماء على اللحاء الداخلى (المعروف عندهم بالـ Liber) لاشجار الزيزفون الامريكى basswood واشجار اخرى غيرها وتقابل هذه الكلمة فى وقتنا الحاضر كتاب book، ومن هذه الكلمة ايضا اشتقت كلمة المكتبة Library. فى بعض النباتات الخشبية يمكن تمييز الزيادة السنوية فى النمو عن طريق قياس الزيادة فى اللحاء

ولكن ليس بالوضوح الذى يتميز به الخشب، ويمكن ان يكون سبب ذلك هو وجود حزم الالياف او وجود تلك الخلايا المتجمعة كالحزم والتى تحتوى على مادة التانين، كما يمكن ان يكون ذلك بسبب صغر حجم خلايا اللحاء المتكونة مؤخرا واسباب اخرى غيرها، ثم ان المنطقة التى يتم فيها تجديد الزيادة السنوية تكون صغيرة جدا بالاضافة الى ان تقدم عمر الشجرة يؤثر على تحطيم اللحاء القديم عن طريق الضغط المسلط عليه من اثر الزيادة السنوية او انه يتداخل بين طبقات الفلين.

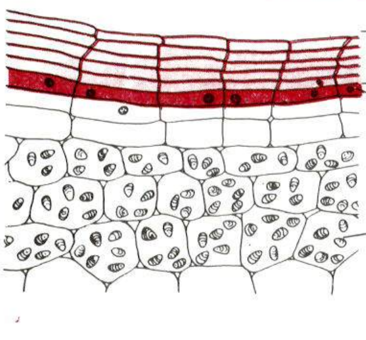
الفلين *Cork*

معظم النباتات الخشبية والعشبية تكون طبقة من الفلين على السطح الخارجى للساق (شكل 7 ـ 29) وهذه الطبقة تتكون عادة من اغصان النباتات الخشبية فى اول فصل نمو. ويتكون الفلين بواسطة الكامبيوم الفلينى cork cambium الذى ينشأ من البشرة اوكما هو فى اغلب الاحيان من الطبقات الخارجية للقشرة تحت البشرة مباشرة، وينقسم الكامبيوم الفلينى مرات ومرات حيث يكون الى الخارج طبقة من خلايا فلينية منتظمة على شكل صفوف نصف قطرية، كما يكون احيانا الى الداخل قليلا من الخلايا شبيهة بالبرنشيمية وعندما يكمل نمو الخلايا الخارجية للفلين فان مواد دهنية وشمعية تتجمع فى جدرانها بحيث تجعل منها عائقا او حاجزا بوجه مرور الماء والغازات، ثم ان الفلين يتسبب فى عدم وصول الماء والغذاء الى البشرة ولهذا السبب تموت البشرة وتتقشر ثم تسقط تدريجيا بعد ذلك تموت الخلايا الفلينية وتصبح مملوءة بالهواء ومواد تانينية او بمواد شمعية كما فى نبات بتولا الورق paper birch، حيث تتسبب فى اعطاء القلف المظهر الضارب الى البياض بالاضافة الى اهميته الاخرى فى تسهيل اشعال النار، وبما ان الفلين هو ناتج عن نشاط مرستيم جانى فانه يصنف لهذا السبب على اساس انه نسيج ثانوى secondary tissue، والفلين يعيق فقدان الماء من انسجة الساق ويساعد ايضا فى التئام جروح الساق، حيث يتكون فى منطقة الجرح، وبذلك يمنع جفاف الانسجة التى تتعرض الى الخارج بسبب هذه الجروح ثم ايقاف الاصابة المحتملة نتيجة احتمال دخول بعض الفطريات التى تتسبب فى تفسخ الانسجة المعرضة. بالاضافة الى ذلك فان الفلين يعتبر من العوازل المهمة، ولايستبعد ان نشوء القلف الخشبى مع تكوين طبقة سميكة



شكل (7ـ29) اهم خلايا وانسجة القلف والمناطق المجاورة فى نبات من ذوات الفلقتين كما تظهر فى رسم تخطيطى لقطاع عرضى

شكل (7ـ30) فلين درنة البطاطس Cork in the potato tubers

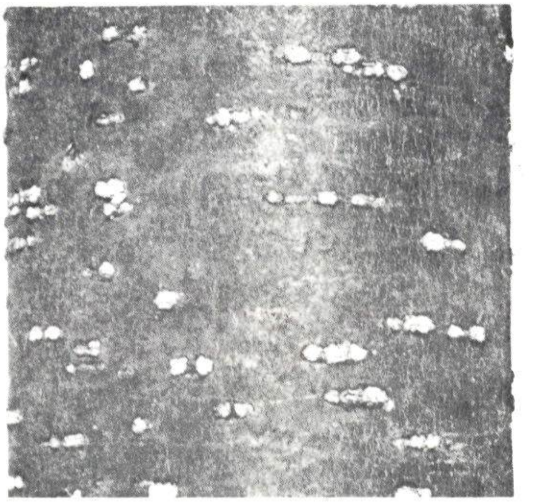


من الفلين فى اشجار المناطق المعتدلة له علاقة بمنع الأذى الذى يمكن ان يصيب الكامبيوم نتيجة للتغيرات الفجائية فى درجات الحرارة فى فصل الشتاء، ثم ان الاشجار التى لها قلف فلينى سميك يمكن الا يصيبها الاذى نتيجة لاشعال البشر للنار فى الغابات قرب الاشجار، والتى يمكن ان تتسبب فى قتل الكامبيوم للانواع التى يشكل فيها الفلين طبقة رقيقة . درنة

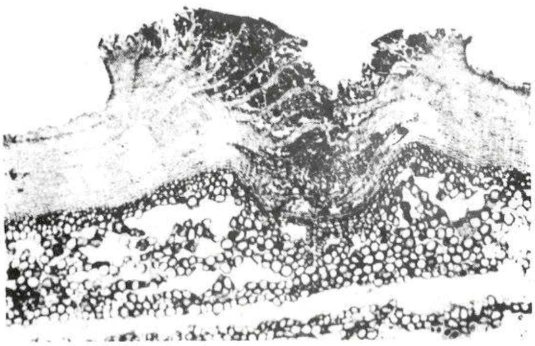
البطـاطس هى احـدى الامثلـة الشـائعـة عن تكـوين الفلـين فالكامبيوم الفلينى، الذى يتكون فى بداية نشؤ الدرنة يعمل على تكـوين طبقة دقيقـة من الفلين، وهـذه الطبقة التى تمثـل جلد الـدرنة skin، يمكن ان تنـزع بسهولـة فى الدرنـات الجديـدة المقطوفة توا، وذلك بفركها . وفى حالة خزن الدرنات فان طبقـة الفلين هذه تزداد فى السمك والمتانة وعليه فان الوسيلة الوحيدة لنزعها هو عن طريق التقشير فقط، وطبقة الفلـين هذه هى التى تجعل عملية خزن الدرنات ممكنا، وقشرة الدرنة تتـألف بشكل رئيسى من خـلايا فلينيـة (شكل 7 ـ 30) وان الشخص الـذى يأكل هذه القشرة يجدهـا مشابهـة فى طبيعتها واصلهـا للمادة الفلينية التى تصنع منها السدادات الفلينية للزجاجات.

ويتحصـل على الفلـين تجاريـا من فلين البلـوط الموجـود فى منطقة البحر الابيض المتوسط، حيث يكون الكـامبيوم الفلينى فى هذه الاشجار طبقة سميكة من الفلين، تنزع من الاشجـار فى فتـرات تتراوح بـين 8 ـ 10 سنوات ويـرافق عمليـة تجـريـد (تقشر) الاشجار من الفلين الحاق اضرار كبيرة بـالكامبيـوم بل وربما قتله، الا ان الاشجار تعوض ذلك بتكوين كامبيوم جـديد ضمن الانسجـة الحية للقلف، والـذى يقع عـلى عاتقـه تكوين طبقة فلينية جديدة،

فى العديد من النباتات الخشبية كالزان وبعض انواع الكرز والبتولا يتواصل وجود الكامبيوم الفلينى الاصـلى طوال فتـرة حياة النبات، ويزداد بازدياد قطر ساق الشجرة، كمـا تتوسـع القشرة ايضا عن طريق الانقسـام الخلوى، وبـذلك فـان جذع الشجـرة شأنـه شأن الاغصـان والفروع يبقى املس نسبيـا ويتـوقف الكـامبيـوم الفلينى عن طـريق الانقسـام فى معظم النبـاتات الخشبيـة التى تعيش فى المناطق المعتـدلة وذلـك بعد سنوات قليلة من تكوينه وبذلك تتوالى اضافة طبقات جديدة من الفلـين الى القلف من جهتـه الـداخليـة، امـا طبقـات الفلـين الخـارجية التى تتضمن بـالاضافـة الى الفلين انسجـة اخرى غيره فسرعان مـاتموت، وبمـوت هذه الطبقـات فانـه يستحيل عليها ان تواكب الزيادةالتىتطرأ على قطر الساق، فتتصـدع وتتشقق نتيجة الضغط المسلط عليها من الداخل اثر الزيادة فى نمو الساق، والقلف النـاتج اى المتكون فى مثل هـذه الاشجار يكون خشنا من اثر الشقوق والحراشف وبعض الاثار الاخرى الموجودة على سطحه حيث تكون علامات فارقـة لبعض الانواع وبذلك يستفـاد منها احيـانا للتعـرف على نـوع النبات، وتبقى



شكل (7ـ31) عديسات نبات جار الماء alder (Alnus rugosa) كان قطر الساق عشرة سنتيمترات



شكل (7ـ32) عديسات الكرز الاسود black cherry (Prunus serotina) كما تظهر فى قطاع عرضى اخذ فى ساق فتية

بعض الاشجار محتفظة بطبقاتها الخارجية من القلف لسنوات كثيرة، ولذلك فان سمك القلف يمكن ان يزداد ازديادا كبيرا

العديسات Lenticels هى عبـارة عن تراكيب مـوجودة فى القلف تسـاعد عـلى التهـويـة وتظهـر عـلى السيقـان وعـلى الجـذور كمساحات فلينيـة مرتفعـة او مستطيلة اودائـرية (شكـل 7 ـ 31) وتتألف العديسات من مجموعـة كبيرة من خـلايا مفككـة يتخللهـا العديـد من المسافـات البينية التى من خـلالها يمكن للاوكسجين ان ينفذ الى الانسجة الحية الداخليـة. وتتبادل او تتعـاقب هذه الخـلايا المفككـة فى بعض انواع النبـاتـات مـع

مجموعة من خلايا متراصة (شكل 7 ـ 32) ، والعديسة هي احدى نواتج الكامبيوم حيث يعطي في بعض المواقع خلايا تتشكل منها العديسة بدلا من خلايا الفلين، والعديسات يمكن ملاحظتها في السدادات الفلينية حيث تظهر كاقنية بينة او على شكل اخاديد تتقاطع مع محاور الفلين العمودية بزوايا قائمة، او توجد كثقوب منتشرة بموازاة الجوانب.

السيقان العشبية من ذوات الفلقتين: Dicotyledonous Herbaceous Stems

هناك تشابه الى حد كبير بين النمو والتراكيب الموجودة والعمليات او الفعاليات التي تحدث في السيقان العشبية لذوات الفلقتين مع ماهو موجود او يحدث في السيقان الخشبية لذوات الفلقتين، فالكامبيوم مع بعض الاستثناءات يكون موجودا، ولكن الاختلاف الوحيد هو في طول المدة التي يؤدي فيها الكامبيوم وظيفته. وبما ان الساق العشبية في المناخ المعتدل تعيش لبضعة اشهر فقط، بين الربيع والخريف، فان الكامبيوم يقوم باداء وظائفه لفصل نمو واحد فقط، ففي بعض الاعشاب كعباد الشمس مثلا تصبح الساق صلدة وخشبية وفي البعض الاخر نجد ان كمية الانسجة الثانوية المتكونة قليلة، ولهذا السبب تبقى الساق لينة نسبيا، تختلف النباتات العشبية عن الخشبية في خلو الاولى من حلقات نمو، بالاضافة الى ان هناك ايضا بعض الاختلافات الطفيفة بينهما من ضمنها نجد ان منطقة النخاع (اللب) تكون واسعة في السيقان الخشبية كذلك نجد ان السيقان العشبية تفتقد الفلين.

التشريح الداخلي للعديد من السيقان العشبية يتشابه الى حد كبير مع تشريح غصن خشبي من ذوات الفلقتين، فالانسجة الحزمية الابتدائية في بعض السيقان العشبية تكون اساسا اسطوانة متصلة على طول السلامية حيث يصعب تمييز الحزم الوعائية كلا على انفراد. كما ان الكامبيوم هو الاخر متصل ببعضه، حيث يعطي عند انقسامه اسطوانة كاملة من الانسجة الثانوية، في حين ان البعض الاخر من السيقان تكون انسجة الحزم الابتدائية فيها على شكل حزم وعائية منفصلة عن بعضها ومتميزة الواحدة عن الاخرى. وتختلف هذه الحزم في عددها وحجمها كما هو واضح من فحصنا للمقاطع العرضية لهذه السيقان. وتنشأ من الحزم اشرطة من الكامبيوم تدعى بالكامبيوم الحزمي fascicular cambium وترتبط هذه الاشرطة مع بعضها على التتابع بواسطة الكامبيوم مابين الحزم inter fascicular وكنتيجة للنشاط الكامبيومي تتكون اسطوانة كاملة من الانسجة الثانوية.

بعض السيقان العشبية والتي هي من الناحية التطورية اقل من سابقاتها، يضمحل فيها النشاط الكامبيومي كثيرا. فالكامبيوم مابين الحزم يمكن ان يكون خلايا برنشيمية سميكة الجدران الى الداخل (جهة الخشب)، كما في البرسيم الحجازي alfalfa (medicago) او ان يكون نشاط الكامبيوم في الحزم الوعائية محدود كما في النفل clover (Trifolium) (شكل 7 ـ 13. هناك ايضا عدد قليل من الانواع الاقل تطورا كما في اقدام الغراب (Ranunculus rowfoots) لايوجد الكامبيوم اصلا في حزمها الوعائية . الياف اللحاء في السيقان العشبية محصورة في الجهة الخارجية من اللحاء مثلما هي في السيقان الخشبيةحيث تتجمععلىهيئة قبعة ويمكن ملاحظة ذلك بوضوح عند فحص مقطع عرضي . والياف اللحاء الموجودة في سيقان ذوات الفلقتين العشبية مهمة كمواد أولية إذ منها تصنع الحبال وخيوط النسيج textiles . ومن بين النباتات التي لأليافها قيمة في هذه الصناعة الكتان flax والجوت jute والقنب hemp .

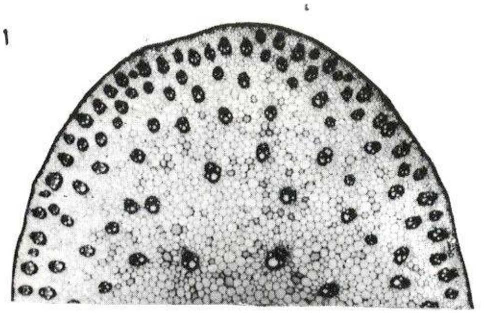
سيقان ذوات الفلقة الواحدة : Monocotyledonous Stems

يختلف تركيب ساق ذوات الفلقة الواحدة عن المخروطيات وذوات الفلقتين بشيئين رئيسيين (1) الأنسجة الوعائية عادة تكون منتظمة في حزم منفصلة ، وهذه الحزم كما تشاهد في المقطع العرضي منتشرة في كل الساق (شكل 7 ـ 33) ، وليس كما هو موجود في ذوات الفلقتين ، حيث الحزم الوعائية تنتظم مكونة اسطوانة وعائية . وكنتيجة لهذا الانتشار للحزم الوعائية فإنه يصبح من غير الممكن رسم حدود فاصلة بين اللب من جهة والقشرة من ناحية أخرى . بعض ذوات الفلقة الواحدة كالخيزران bamboo والقمح (شكل 7 ـ 33 ب) ، وحشائش أخرى ، تكون مناطق السلاميات فيها مجوفة ، ولكن حتى في هذه النباتات نرى أن الحزم الوعائية موزعة بشكل غير منتظم . (2) جميع خلايا أشرطة الكامبيوم الأولى

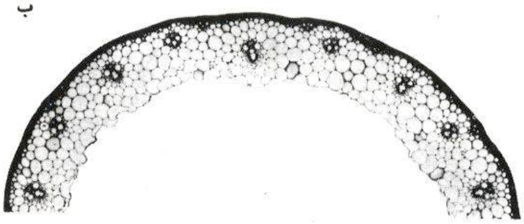
تتحول الى خلايا من الخشب أو اللحاء عند نضجها ، ولهذا فإن الكامبيوم يصبح لا وجود له * . وكنتيجة لغياب المرستيم الجانبى فان انسجة ساق ذوات الفلقة الواحدة هى انسجة أبتدائية المنشأ ، ولهذا فإن الأنسجة الابتدائية فى ذوات الفلقة الواحدة ذات أهمية أكبر بكثير من تلك الموجودة فى المخروطيات وذوات الفلقتين . ويتسبب غياب النمو الثانوى فى سيقان ذوات الفلقة الواحدة حتى بالنسبة الى النخيل والخيزران الضخم ، فى أن يكون من النوع العمودى columnar وليس المخروطى tapering . ويمكن توضيح النظام الذى توجد فيه الخلايا وكيفية ترتيبها فى الحزم الوعائية لذوات الفلقة الواحدة من خلال فحص حزمة وعائية مأخوذة من الجزء الداخل لساق الذرة (شكل 7 ـ 34) . حيث نلاحظ أن أولى خلايا الخشب المتكونة هى تلك الخلايا الموجودة باتجاه مركز الحزمة ، وتكون هذه الخلايا محطمة عادة نتيجة للضغط الموجه عليها جانبيا وعموديا من جراء النمو ، وبذلك تتكون فجوة هوائية كبيرة . والذى يقوم بأداء الوظيفة من الخشب وعاءان كبيران بالاشتراك مع عدد من الأوعية الصغيرة ، أما اللحاء فيتألف من أنابيب غربالية وخلايا مرافقة فقط . والحزمة الوعائية ككل تكون مغلقة ، وذلك باحاطتها بغمد ضيق فى ألياف سكلرنشيمية سميكة الجدران .

وتساهم الأغماد بالحزم الداخلية لساق الذرة إلى حد ما فى الدعم الميكانيكى ، أما الجزء الذى يتحمل العبء الأكبر فى عملية دعم الساق وحفظها من الكسر فهو الجزء الخارجى من الساق «rind» (شكل 7 ـ 35) . حيث توجد معظم الحزم الوعائية ، وكل واحدة محاطة بغمد سميك من الألياف ذات الجدران المغلظة . بالنسبة الى الخلايا البرنشيمية التى تنتشر فى كل المقطع والتى تنغمس فيها الحزم الوعائية تتميز بصفة

أ



ب

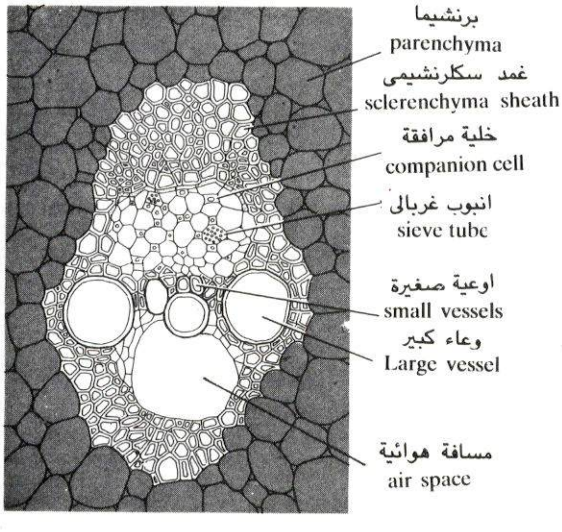


شكل (7ـ33) التوزيع المشتت للحزم الوعائية فى سيقان ذوات الفلقة الواحدة .

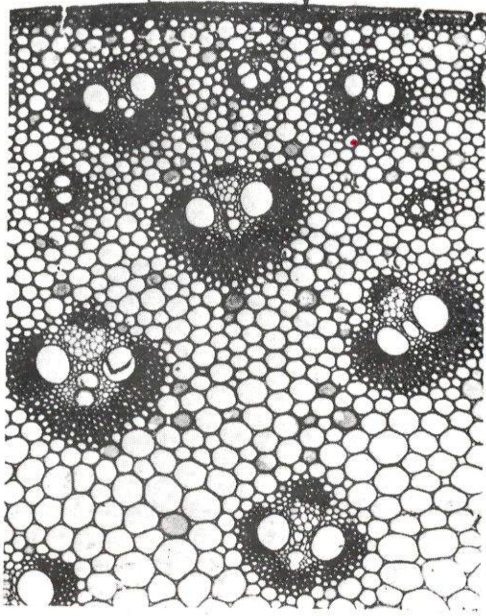
أ ـ نبات الذرة Corn (Zea mays)

ب ـ القمح Wheat (Triticum aestivum) تحتوى ساق القمح على حزم صغيرة وتتواجد تحت البشرة مباشرة **بالاضافة إلى** احتواء الساق على الحزم الكبيرة .

شكل (7ـ34) قطاع عرضى فى حزمة وعائية لساق نبات الذرة



* هناك استثناءات لهذه الحالة فى بعض النباتات الخشبية فى عائلة الليلك lilies وعدد قليل آخر من عائلات ذوات الفلقتين . ففى هذه النباتات ينشأ الكامبيوم ، ويمكن أن يعطى كمية لا بأس بها من الأنسجة الثانوية . والكامبيوم ينشأ من الخلايا البرنشيمية الموجودة خارج ـ الحزم الوعائية الابتدائية ولا يكوّن فى العادة لحاء الى الخارج وخشبا الى الداخل . والنسيج الثانوى الذى يتكون أغلبه إلى الداخل من الكامبيوم ، حيث يتألف من حزم وعائية مغمورة فى خلايا برنشيمية ثانوية . كما أن بعض الخلايا البرنشيمية الثانوية الأصل الموجودة خارج الكامبيوم هى أيضا ناتجة عن خلايا الكامبيوم الموجودة فى الجهة الخارجية .



شكل (7ـ35) صورة مجهرية تبين خصائص بنية الجزء الخارجي من ساق الذرة وتوضح الصورة المنطقة المسئولة عن متانة الساق .

لا يمكن ملاحظتها فى الساق الفتية التى يدرس فى المختبر عادة ولكنها تبدو واضحة فى الساق القديمة . حيث نجد أن هذه الخلايا قد كونت لنفسها جدرانا سميكة (شكل 7 ـ 35) . هذه الأجزاء الثلاثة وهى : شريط من ألياف سكلرنشيمية تمثل جزءا من البشرة rind ، ثم الخلايا البرنشيمية المثخنة الجدران وكذلك أغماد الحزم الوعائية هى التى تمكن ساق الذرة الناضجة وتمدها بالقوة والمتانة بحيث تجعلها تقاوم الريح ثم الوزن الناتج عن الأوراق والكيزان ears .

الألياف السكلرنشيمية تحيط بالحزم فى العديد من أوراق ذوات الفلقة الواحدة حيث يمكن استخراج هذه الألياف التى تعتبر من المصادر التجارية من أوراق السيزال sisal وأغماد أوراق قنب المانيلا Manila hemp . ثم إن هناك أليافا من نفس النوع موجودة عادة فى سيقان ذوات الفلقة الواحدة كحزم دائرية مختلفة فى السمك وموجودة فى الجزء الخارجى لمحيط الساق . وهذه الحزم يمكن أن توجد تحت البشرة مباشرة كما فى الذرة أو قريبة من البشرة على عمق عدة خلايا كما فى الهليون asparagus . فالجزء العلوى فى الساق أو كما فى الهليون طرفه المدبب العلوى يكون صالحا للأكل والسبب الرئيسى فى ذلك هو أن الألياف لم تكوّن جدرانها المغلظة بعد . أما قاعدة ساق الهليون فتكون متخشبة نتيجة لنضج أليافه . ويمكن التحقق من ذلك عند قطع الساق فى منطقة القاعدة . وغالبا ما يرمى الجزء القاعدى المائل للبياض عندما يستعمل الهليون فى الطبخ . ولو أن هذا الجزء من الساق تم تقشيره عن طريق نزع هذه الألياف الخارجية لأمكن الحصول على نسيج داخلى غض يمكن أكله بسهولة حيث يشبه إلى حد بعيد الجزء العلوى من الساق .

النقل : Translocation

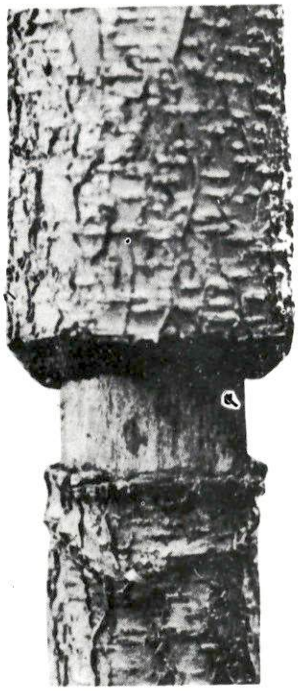
معظم المراقبين من الخارج لنشاطات النبات يدركون أن مواد من أنواع مختلفة تنتقل خلال جسم النبات . ومن المألوف ادراك أن الماء يدخل النبات من التربة وأن استخدام الأسمدة التجارية وغيرها من الأسمدة باضافتها لتربة الحقل ينتج عنه زيادة فى النمو أو فى عدد الأزهار أو الثمار . ولقد أعطى الباحثون الجدد صورة حقيقية واضحة عن انتقال الغذاء والماء والأملاح المعدنية داخل النبات وبين أنسجته . ويستخدم مصطلح النقل translocation هذا عند الكلام عن انتقال جميع هذه المواد .

انتقال الماء : Translocation of Water

ينتقل الماء فى النبات خلال الخشب ، ويسلك الماء طريقا غير منتظم من خلال الثقوب المركبة للقصيبات فى سيقان المخروطيات . اما فى الاشجار النفضية deciduous trees المتساقطة الاوراق والنباتات العشبية فإن الماء ينتقل بصورة رئيسية من خلال الجدران النهائية لمثقبة العناصر الوعاء . فلو تم نزع شريط من القلف بعمق يصل حتى الخشب عن طريق عمل حلقة حول جذع الشجرة او احد فروعها لما تأثرت الاوراق الواقعة الى الاعلى من هذه الحلقة بالذبول ، وهذا دليل قاطع على ان الماء ينتقل الى هذه الاوراق عن طريق الانسجة التى لم يتم قطعها . اما اذا استمر القطع حتى الوصول الى الخشب العصارى Sap Wood لنسيج الخشب



شكل (7_36) شجرة جوفاء استمرت فى النمو العنيف . يتم نقل الماء عبر الخشب العصارى sapwood



شكل (7_37) شجرة الكرز الاسود black cherry (*Prunus serotina*) فى نهاية الموسم الثانى للنمو بعد حولقتها girdling لقد اوقف نمو الكامبيوم فى المنطقة تحت الحلقة استمر اعلاها .

لرأينا ان جزء الشجرة الذى يقع الى الاعلى من هذه الحلقة سيموت بسرعة بسبب نقص الماء .

ولو اخذ احد الاغصان الصغيرة وطليت منه منطقة الخشب عند القاعدة بمادة تساعد على غلق الاوعية الخشبية ووضع هذا الغصن من طرفه فى الماء . فالذى سيحدث هو ذبول اوراق الغصن على الرغم من ان نسيج اللحاء لم يغلق امام عملية التوصيل . اما فى حالة وضع احد الاغصان المقطوعة فى محلول احدى الصبغات ، وفحص مقطعه العرضى فإنه يمكن ملاحظة ان الذى اصطبغ بالصبغة هو خلايا الخشب . وحتى بالنسبة لنفس النسيج هناك اختلاف فى تمركز عملية النقل بحسب المناطق فمثلا الخشب فى جذوع الاشجار واغصانها الكبيرة يكون متمايزا الى نوعين : هما الخشب الصميمى والخشب العصارى وبطبيعة الحال فإن مقدرتهما على التوصيل تختلف هى الاخرى . اذ ينحصر عادة انتقال الماء على الجزء الخارجى من الخشب وهو الخشب العصارى . ويمكن للاشجار المجوفة التى فقدت خشبها الصميمى بطريقة ما ان تعيش لسنوات عديدة (شكل 7_36) . وينتقل الماء فى الانواع ذات الحلقات المسامية بواسطة عدد قليل من حلقات النمو الخارجية مع انه فى انواع اخرى يمكن ان يقتصر على آخر حلقة من حلقات النمو فقط . اما انتقاله فى الاشجار ذات الثقوب المنتشرة وفى المخروطيات فيتم باشتراك عدد كبير من حلقات النمو .

ويختلف معدل انتقال الماء باختلاف الظروف المحيطة ولكن بشكل عام يكون اكثر سرعة فى الاشجار ذات الحلقات المسامية وغالبا ما يقدر بعدة امتار فى الساعة . اما معدل سرعته فى الاشجار الاخرى فيكون اقل من ذلك بكثير ، ويصل معدل السرعة فى المخروطيات الى متر او اقل فى الساعة . ويتضمن الفصل القادم مناقشة آلية انتقال الماء والقوى المؤثرة عليه .

انتقال الغذاء والعناصر المعدنية : Translocation of Foods and Mineral Salts

المواد الغذائية التى تتكون منها الانسجة الجديدة والتى يستفاد منها فى عملية التنفس غالبا ما تنتج او تخزن فى

اماكن بعيدة عن مناطق استخدامها ، ويتم انتقال هذه المواد العضوية بشكل عام عن طريق الانابيب الغربالية للحاء . وتشير التحليلات الكيميائية لمحتويات الانبوب الغربالى الى ان المواد الكربوهيدراتية تنتقل عادة فى صورة سكروز . ومن المحتمل ان انتقال النيتروجين العضوى يكون على هيئة احماض امينية او بروتينات ذائبة . ويتبع الانتقال فى بعض الحالات قوانين الانتشار diffusion ولكن يمكن ان يكون اسرع بمئات المرات مما لو تم عن طريق الانتشار فقط . يحدث تحرك المواد احيانا فى الاتجاه المعاكس للتركيز (عكس فرق التركيز) كما يحدث عندما ينتقل السكر من اوراق البنجر السكرى الى الجذر او من اوراق الذرة الى الحبة النامية فيه . ويدعى مثل هذا النوع من النقل بالنقل الفعال active transport .

والدليل الواضح الذى يبرهن على ان الغذاء ينتقل بواسطة اللحاء هو من خلال عمل حلقة حول ساق نبات خشبى لانتزاع اللحاء المحيط بالخشب وتأثير ذلك على عملية نقل الغذاء . ولو تم تقشير الساق النامية على شكل حلقة فإن نشاط الكامبيوم الذى هى تحتها مباشرة سرعان ما يتوقف . ويعتقد ان سبب هذا التغير ناتج عن قطع الطريق امام انتقال هرمونات النمو المتكونة فى البراعم والاوراق ذات الحركة باتجاه الاسفل كما توشك المنطقة التى هى الى الاسفل من الحلقة على الموت نتيجة لانقطاع وصول السكر المتكون فى الاوراق . اما الكامبيوم الواقع الى الاعلى من الحلقة فيستمر نموه اعتياديا ، بل يمكن ان يواصل نموه بمعدل اعلى . كما ان الساق التى هى اعلى الحلقة يزداد قطرها اكثرمن جزء الساق الواقع فى اسفلها (شكل 7-37) ومع ان الشجرة المحولقة يمكن ان تبقى على قيد الحياة لبعض الوقت ، ولكن مع ذلك فإنها تموت فى آخر الامر على الرغم من استمرار انتقال الماء . وعندما يستنفذ الغذاء الموجود فى جزء الساق السفلى وفى الجذور ، تموت الاخيرة ايضا فى آخر الامر . ويتسبب موت الجذور فى ايقاف امتصاص الماء وبذلك تذبل الاوراق ثم تموت ، ويموت النبات ككل .

والفائدة فى حولقة الاشجار ليست تجريبية فقط ، ولكن عن طريق استخدام هذه التقنية امكن التخلص من بعض الاشجار التى تنمو من الجذور عند قطع الشجرة حيث يكون نمو هذه النباتات حرا وباعداد كبيرة كما هو فى بعض اشجار الحور فبعد الحولقة تموت الجذور تدريجيا نتيجة لانقطاع وصول الغذاء اليها وبهذه الطريقة يتم التخلص من هذه النموات او تقليلها الى الحد الادنى . ولتنظيف الحقول من هذه النموات من اجل زراعة المحاصيل فيها عمد المهاجرون الاوائل فى امريكا الى تسليط ضغط عليها لفترة زمنية او عن طريق حولقة هذه الاشجار ولم يستخدموا طريقة القطع . ومن ثم تزرع المحاصيل بين هذه الاشجار الميتة والتى يمكن قطعها وحرقها فيما بعد عندما يسمح الوقت بذلك والحولقة مازالت تستخدم من مناطق الغابات لتفريغ بعض المساحات منها من اجل زراعة المحاصيل . وغالبا ماتقوم الجرذان والفئران بحولقة لاشجار الاركيد orchard حيث تستخدم قلف هذه الاشجار كغذاء لها فى الشتاء . وهذه الاشجار تموت عادة ، ولكن مع ذلك يمكن انقاذها بواسطة التطعيم الجسرى bridge grafting شرط ان يكون هذا العمل فوريا ومن غير ابطاء ، والطريقة هى ربط مجموعة من الاغصان الحية الواقعة فى اعلى الحلقة بطرف القلف السفلى وبالعكس اى ربط مجموعة من الاغصان الحية اسفل الجزء المتضرر بالقلف فى اعلى الحلقة وهكذا يتم تضميد الجرح وانقاذ الشجرة . واخيرا فالحولقة تستخدم فى بعض الاحيان من قبل العاملين فى حقول الغابات من اجل تحسين هذه الغابات فغالبا ما تنمو الى جانب الاشجار التى تستخدم سيقانها فى صناعة الخشب اشجار عديمة الفائدة تقوم بتظليل الاشجار الصغيرة التى حولها. ولو اريد التخلص من هذه الاشجار عن طريق القطع فإنها ستسقط وتقضى على الاشجار الصغيرة التى تحتها . اما لو استخدمت طريقة الحولقة فإن هذه الاشجار سرعان ما تموت وتتفسخ ثم تبدأ فروعها بالسقوط الواحد تلو الآخر تدريجيا . ومع ان سقوط الاغصان يتسبب فى الحاق بعض الاضرار للاشجار الصغيرة تحتها الا انها تكون اضرار طفيفة بالمقارنة .

ينتقل القسم الرئيسى من الغذاء بالاتجاه السفلى (من اعلى الى اسفل) ولكن الانتقال بالاتجاه العلوى مهم هو الآخر ، حيث ينتقل الغذاء الى الاعلى فى مناطق الخزن الى الاجزاء الفتية النامية فى الساق ، وكذلك ينتقل من الاوراق الى الثمار النامية ثم من البذور الى البادرة ، او كما فى النباتات العشبية المعمرة تنتقل من الاغصان الخازنة تحت سطح التربة الى الاجزاء الفتية فى الساق . ويحدث هذا الانتقال من اللحاء ايضا .

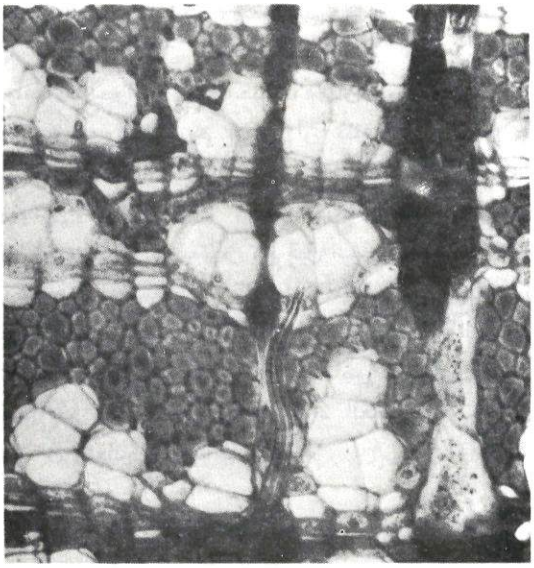
ابتداء من حوالى سنة 1953م بدأ فى استخدام تقنية

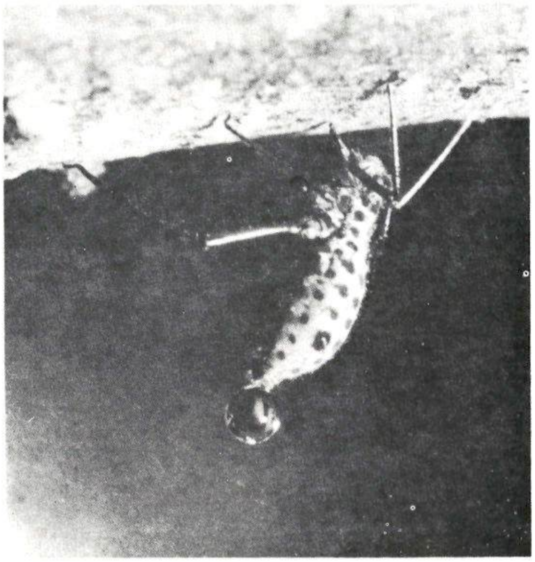
حديثة متطورة لدراسة الانابيب الغربالية ومحتوياتها . وعن طريق الدراسة تأكد الكثير من الافكار كما اضيف اليها معلومات جديدة . وهذه الطريقة هى استخدام الحشرات الثاقبة الماصة aphid - stylet . وتتغذى هذه الحشرات على الفروع الفتية للنباتات الخشبية . ويتألف فم هذه الحشرات من ثلاثة خراطيم Stylets محاطة بغمد عند القاعدة وعند التغذية تبرز هذه الخراطيم وتولج داخل القلف حتى تدخل الى احد الانابيب الغربالية، (شكل : 7ـ38). حيث تنتقل محتوياته بالقوة الى داخل جسم الحشرة عن طريق الضغط الانتفاخى turgor pressure للانبوب . وقد وجد ان هذه المادة غنية بالسكر وتحوى نسبة منخفضة من الاحماض الامينية وان الفائض من هذا السكر يطرح على شكل نقط صغيرة وعسلية يجمعها النحل عادة .

ويمكن الحصول على مادة الانبوب الغربالى التى تمتصها الحشرة بدون تغير عن طريق تخديـــر الحشرات فى وقت تغذيتها بتيار من ثانى اوكسيد الكربون ثم تقطع الحشرة وترمى بعيدا ويترك منها خراطيمها وهى ممتدة داخل الانبوب الغربالى . فتنساب عصارة الانبوب الغربالى الى الخارج من خلال الخراطيم ، ويمكن للعصارة ان تستمر بالانسياب لفترة يوم او اكثر حيث تجمع بانبوب شعرى دقيق . ومعدل ما يجمع من العصارة بهذه الطريقة عن طريق احد خراطيم الحشرات التى تتغذى على الصفصاف Willow (Salix) يتراوح بين 1ـ2 ملليمتر مكعب فى الساعة ، اما المعدل الحسابى للانتقال عبر الانابيب الغربالية فكان مترا واحدا فى الساعة وذلك عبر ما يقارب المائة عنصر غربالى فى الدقيقة الواحدة . ويعتبر السكروز هو المذاب الرئيسى فى عصارة الانبوب الغربالى ويترواح تركيزه من 5ـ15 بالمائة من حجم العصارة .

وينتقل ايضا كل من الماء والغذاء باتجاه نصف قطرى ، وخاصة فى النباتات الخشبية ، وهذا الانتقال يتم بصورة رئيسية خلال الاشعة الحزمية . وتعتبر الاشعة ايضا من انسجة الخزن المهمة فى الشجرة ، حيث بانتهاء فصل النمو تمتلىء خلايا الاشعة عادة بالنشاء . كما ان السكر الذى ينتقل عبر اللحاء باتجاه الاسفل ينتقل هو الآخر ايضا نصف

شكل (7ـ38) (الاسفل) حشرة المن aphid (Longistigma caryae) تتغذى على الجانب الاسفل من فرع نبات خشب التبليا basswood(Ti-lia americana) غرست الحشرة خراطيمها فى القلف واصبح الظاهر هو الغمد ويبلغ طول هذه الحشرة 6مم .
(الاعلى) اطراف الخراطيم تتخلل عنصرا غرباليا منفردا فى لحاء الشجرة .





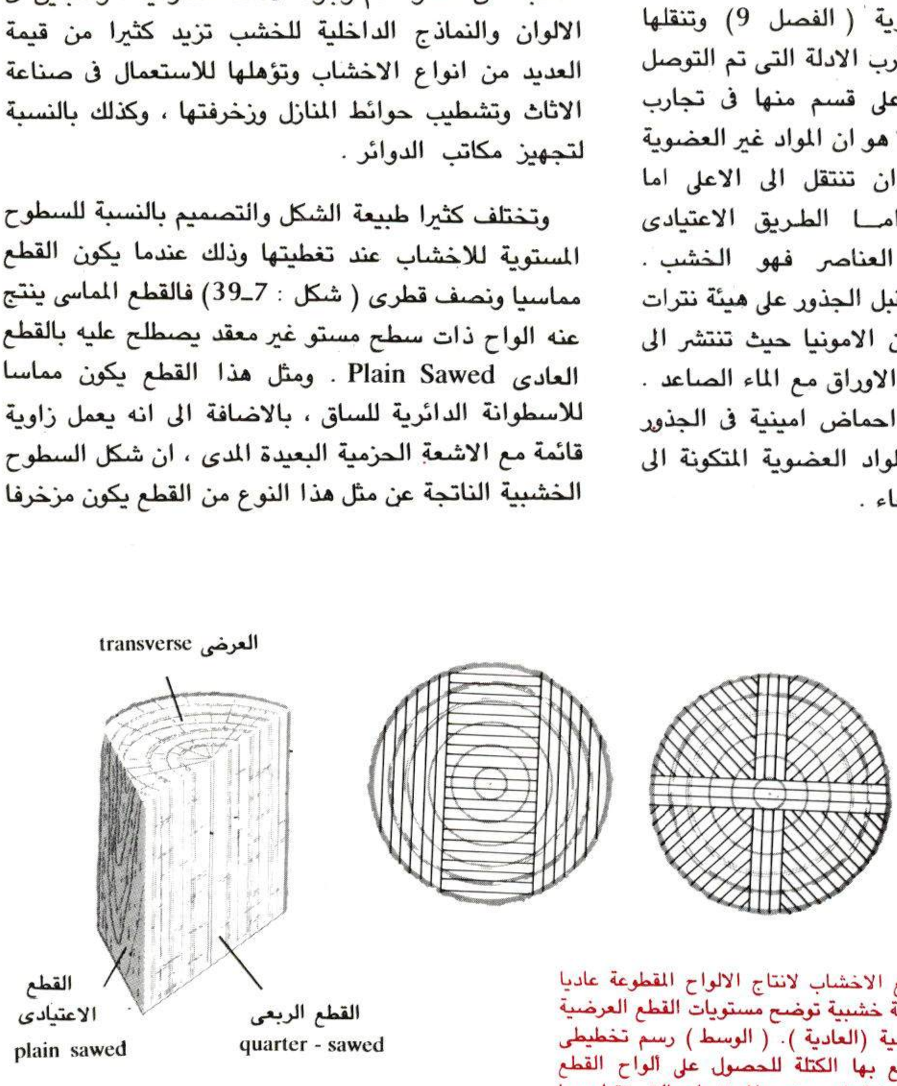
قطرى الى داخل هذه الاشعة الواقعة فى الخشب العصارى لنسيج الخشب . وهنا سيتحول الى نشاء . وهذا النشاء يتحول فيما بعد مرة اخرى الى سكر وينتقل فى الربيع من خلال الاشعة الى الكامبيوم الذى يكون خشباً ولحاء ، وقد ينتقل الى انسجة اخرى من النبات .

تمتص النباتات من التربة العديد من المواد غير العضوية والتى تتضمن العناصر الضرورية (الفصل 9) وتنقلها بواسطة الخشب او اللحاء وتتضارب الادلة التى تم التوصل اليها فى هذا الشأن وتحصل على قسم منها فى تجارب الحولقة . والجواب الاكثر احتمالا هو ان المواد غير العضوية كالبوتاسيوم والكالسيوم يمكن ان تنتقل الى الاعلى اما بواسطة الخشب او اللحاء . امـا الطريق الاعتيادى والرئيسى لانتقال مثل هذه العناصر فهو الخشب . فالنيتروجين يمكن ان يمتص من قبل الجذور على هيئة نترات غير عضوية او بشكل ايونات من الامونيا حيث تنتشر الى داخل الخشب ومن ثم تنتقل الى الاوراق مع الماء الصاعد . وغالبا ما يتحول النيتروجين الى احماض امينية فى الجذور وعندما يتم هذا التحول تنتقل المواد العضوية المتكونة الى الاعلى فى العادة وبواسطة اللحاء .

الاوجه المتنوعة للنمو والتركيب : Miscellaneous Aspects of Growth and Structure

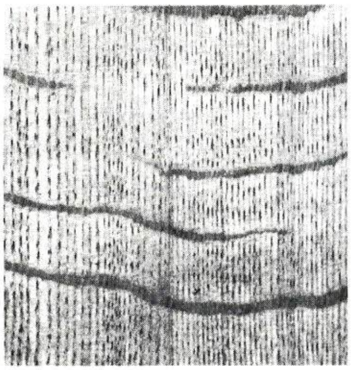
شكل الخشب : Figure in Wood الشكل او النموذج لسطح خشبى مستوى مقطوع بمنشار هو نتيجة للعديد من الصفات التركيبية ، اكثرها اهمية هى الاضافات الناتجة عن النمو ، ثم وجود الاشعة الحزمية . والتباين فى الالوان والنماذج الداخلية للخشب تزيد كثيرا من قيمة العديد من انواع الاخشاب وتؤهلها للاستعمال فى صناعة الاثاث وتشطيب حوائط المنازل وزخرفتها ، وكذلك بالنسبة لتجهيز مكاتب الدوائر .

وتختلف كثيرا طبيعة الشكل والتصميم بالنسبة للسطوح المستوية للاخشاب عند تغطيتها وذلك عندما يكون القطع مماسيا ونصف قطرى (شكل : 7ـ39) فالقطع المماسى ينتج عنه الواح ذات سطح مستو غير معقد يصطلح عليه بالقطع العادى Plain Sawed . ومثل هذا القطع يكون مماسا للاسطوانة الدائرية للساق ، بالاضافة الى انه يعمل زاوية قائمة مع الاشعة الحزمية البعيدة المدى ، ان شكل السطوح الخشبية الناتجة عن مثل هذا النوع من القطع يكون مزخرفا



شكل (7ـ39) مستويات قطع الاخشاب لانتاج الالواح المقطوعة عاديا plain ، رباعيا (اليسار) كتلة خشبية توضح مستويات القطع العرضية والقطرية (الربعية) والمماسية (العادية). (الوسط) رسم تخطيطى يوضح المستويات التى تقطع بها الكتلة للحصول على الواح القطع الاعتيادى . (اليمين) رسم تخطيطى يوضح المستويات التى تقطع بها الكتلة للحصول على الواح القطع الربعى .





شكل (7ـ40) الواح البلوط (اليسار) بالقطع العادى (السطح المماسى tangential surface) (اليمين) القطع الربعى (السطح القطرى surface radial)

(مطرزا) بخطوط متحدة المركز على صورة منحنيات القطع المكافىء غير المنتظمة ، او ربما يكون قريبا من شكل القطع الناقص بسبب الاختلافات فى لون الخشب المبكر التالى لحلقات النمو ، او بسبب تركيبه شكل (7ـ40). وهذه الاختلافات تكون واضحة جدا خاصة فى بعض المخروطيات وبعض الاخشاب الصلبة ، بسبب الفروق البينية بين الخشب البكر والخشب التالى لحلقة النمو . وفى حالة وجود اى صعوبة فى فهم النموذج الزخرفى المرسوم على سطح لوح خشبى اعتيادى القطع فما علينا الا ان نتذكر ما قلناه سابقا ، من ان كل حلقة من حلقات النمو ما هى الا عبارة عن مخروط غير منتظم يستدق تدريجيا ابتداء من قاعدة الجذع حتى قمة الشجرة . ولذلك فان القطع المماسى فى جذع شجرة يكشف عن سطوح واسعة نسبيا للعديد من طبقات النمو . وحيث ان المخاريط ذات اشكال غير منتظمة لهذا نجد العديد من الانحرافات عن الشكل الهندسى المتناسق . ويرجع السبب فى عدم انتظام مخاريط الجذع الى عدم انتظام شكل الجذع ، وكذلك نتيجة للاختلافات الحاصلة فى سمك حلقات النمو فى مختلف اجزاء الشجرة .

وهناك طريقة أخرى لقطع الأخشاب تدعى بالقطع الربعى guarter - sawed (حيث يقسم جذع الشجرة إلى اربعة أرباع قطريا قبل قطع الألواح) والقطع الربعى هو قطع مواز تقريبا للأشعة الحزمية نصف القطرية . فإذا كانت الأشعة واسعة فإنها تظهر فى خشب القطع الربعى على شكل خطوط أو أشرطة قاطعة للسطح عرضيا . والبلوط الذى يعتبر من المصادر الرئيسية للخشب الصلد يقطع بهذه الطريقة ، لأن العديد من الأشعة فيه تكون واسعة وظاهرة للعيان بوضوح كبير (شكل 7ـ40) . ويمكن الحصول على صفائح رقيقة بالقطع الربعى ، وتستخدم فى تكسية الاثاث الخشبى . ويتم القطع بواسطة سلاح حاد بعد تعريض الجذوع لبخار الماء ، ويمكن أيضا الحصول على هذه الرقائق (القشرة) بواسطة تدوير الجذع أمام سلاح حاد مما ينتج عنه رقيقة (قشرة أو صفيحة) مستمرة مقطوعة بمستوى خماسى للجذع . أما ألواح القطع الربعى فى الاخشاب الرخوة كالصنوبر الأصفر وتنوب دوغلاس Douglas فتستخدم غالبا فى تغطية أرضيات المبانى . فقوة تحمل أرضية الخشب الرخو ذى القطع الربعى افضل بكثير من خشب القطع العادى ، وذلك لأن المساحات الصلبة من الخشب متأخر التكوين تكون متقاربة جدا وتظهر عمودية على السطح المعرض للتآكل .

التئام الجروح : The Healing of Wounds

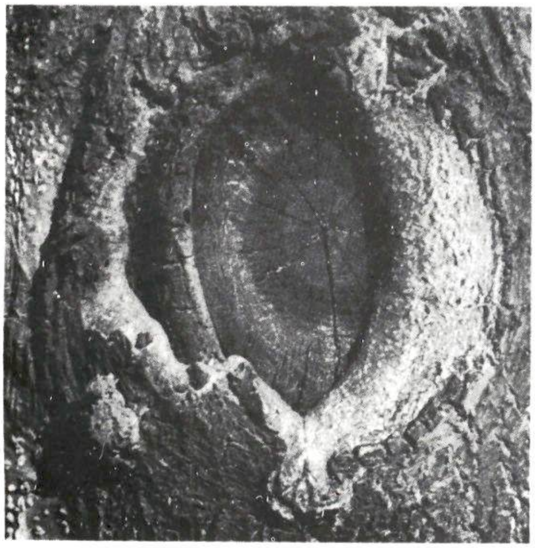
عند حدوث أى خدش أو جرح فى الجذور أو السيقان فإنه سرعان ما يعاد تغطية هذه الأنسجة المكشوفة بأنسجة جديدة من الفلين والخشب . ويمكن بسهولة ملاحظة تكوين مثل هذه الأنسجة فى النباتات الخشبية بعد عملية تقليم الأغصان الكبيرة حيث تتكون كتل من خلايا برنشيمية غير متمايزة تعرف بالكالوس callus على حلقات الجرح أو الخدش فى وقت مبكر من فصل النمو . وخلايا الكالوس تنتج أساسا عن انقسامات الكامبيوم ولكن يمكن أيضا لانسجة اللحاء والخشب أن تشترك فى تكوين مثل هذه الخلايا .

وأثناء تكوين الكالوس ينشأ الكامبيوم الفلينى فى الطبقات الخارجية ومن ثم يتمايز خلاله كاستمرار للكامبيوم الأصلى للشجرة . ونتيجة لا تساع منطقة الكامبيوم هذه فإنها تنتج كتلا ضخمة من الانسجة تزحف من حلقات الجرح فتعمل

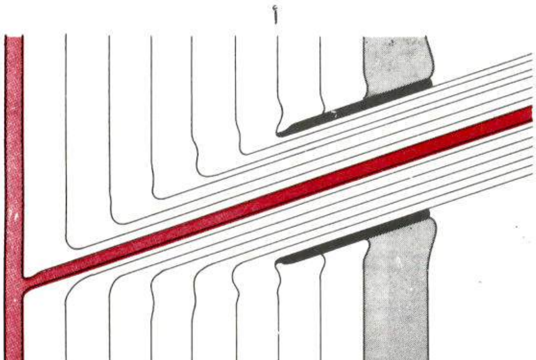
على تغطيته ، وهذه العملية يصطلح عليها أحيانا بتغطية السطح المقطوع Walling ' Over (شكل 7ـ41) . وعندما يتقابل الجانبان المتعاكسان تلتحم طبقات الكامبيوم مع بعضها وباستمرار نشاط الكامبيوم هذا فى تكوين طبقات جديدة من القلف والخشب يدفن الخشب الداخلى شيئا فشيئا كل عام .

العقد : **Knots** العقدة هى الجزء القاعدى من الفرع ، طمرت بالخشب نتيجة لازدياد محيط الشجرة . فالكامبيوم الموجود فى الغصن ما هو إلا استمرار للكامبيوم الموجود فى الساق ، ولذلك تصبح حلقات النمو التى تتكون حول الغصن إستمرارا للتوسع الحاصل فى الجذع ولا تكاد حلقات النمو أن تغير اتجاهها تغيرا فجائيا ، إلا عند اتصالها بالساق . ونتيجة لنمو حلقات جديدة تضاف الى محيط الجذع فيبتعد الكامبيوم عن مركز الساق باتجاه الخارج ، وكنتيجة حتمية لتكوين حلقات النمو هذه يزداد معها عمق قاعدة الغصن . ولذلك يتعذر على الجزء القاعدى فى الغصن الاستمرار فى الزيادة (شكل : 7 ـ 42) . ونتيجة لانغماس هذه العقد فى الخشب فإن اللوح الخشبى المقطوع من ساق الشجرة سيحتوى بطبيعة الحال على هذه العقد ، أما شكل هذه العقد فيعتمد على الاختلاف فى اتجاه حلقات النمو بين الغصن والجذع الرئيسى تحت الظروف الطبيعية للغاية . تموت أغصان الأشجار الواقعة فى أسفل الشجرة تدريجيا والسبب الرئيسى هو نقص الضوء . وعندما يموت الغصن فإن الكامبيوم الموجود فيه سيموت هو الآخر وبذلك يتوقف الغصن عن الزيادة ، فى حين أن الكامبيوم الموجود فى الجذع سيستمر فى اضافة طبقات جديدة حيث سيقابلها زيادة فى محيط الجذع . أما بالنسبة للاغصان الميتة فإن قواعدها ستندفن تدريجيا بواسطة الزيادة السنوية الحاصلة فى قطر الساق وسيكون شكل هذه الأغصان عبارة عن اسطوانة من نسيج غير حى داخل الجذع . ويحدث أن يتساقط قلف هذه الأغصان أو يتفسخ أثناء فترة نمو الساق .

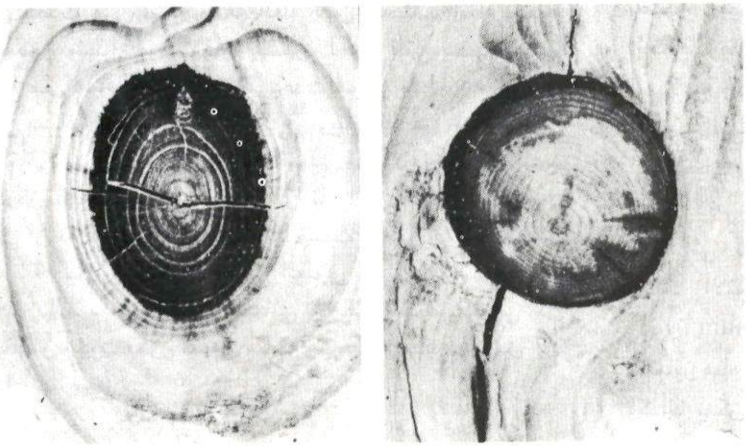
ويمكن لهذه الأغصان الميتة أو أعقابها أن تقاوم لعدة سنوات . إن الجزء القاعدى من الغصن القريب من اللب عندما انطمر داخل الجذع كان فى ذلك الوقت حيا (شكل 7 ـ 42) ، أما حلقات نموه السنوية فكانت استمرارا لحلقات النمو فى الجذع . ولذلك نجد أن هذا العقدة فى اللوح الخشبى تكون متراصة بإحكام مع النسيج المجاور (شكل ـ7 ـ43 اليسار) ، أما العقدة فى اللوح الخشبى المقطوع من القسم الخارجى من الساق حسب موقع الغصن الذى انطمر بعد موته فهى غير وثيقة الارتباط . وهذا التفكك هو



شكل (7ـ41) قلمت شجرة البلوط هذه تقليما سليما ـ قطع الفرع فى منطقة قريبة جدا من الجذع ـ الا ان القلف قد اصيب من جراء ذلك (تظهر على يسار الصورة) . وبعد اربع سنوات نجد ان الجانب الايمن من الجرح قد التأم تقريبا بينما تأخر التأم الجزء المصاب (الايسر) .



شكل (7 ـ 42) رسم تخطيطى يبين دفن قاعدة الفرع بواسطة النمو الثانوى ، كان القسم من الفرع على اليسار الخط أ ـ أ حيا عند بدء دفن الطرف لذا تكاملت حلقات نموه مع حلقات نمو الجذع . اما الجزء الذى على (يمين) الخط فقد مات عند الدفن لذا لم تتكامل حلقات النمو فى الفرع مع تلك التى للجذع . توضح الصورة اللب بالالوان بينما يرمز للقلف بالسواد .



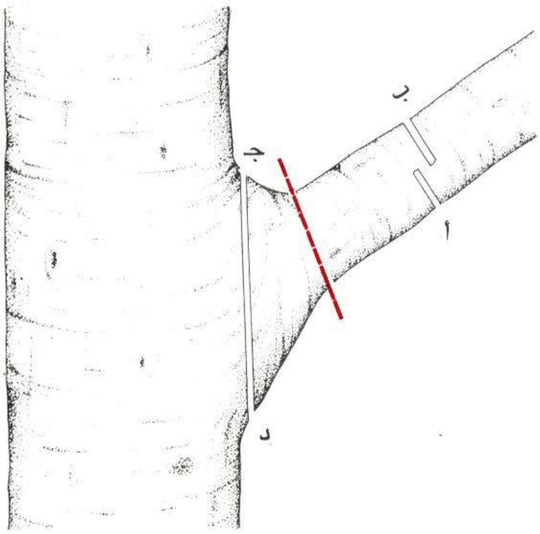
شكل (7ـ43) الواح خشب الصنوبر الصلد وتوضح العقد
(اليسار) عقدة محكمة
(اليمين) عقدة مخلخلة .

نتيجة لموت الغصن وتوقفه عن تكوين حلقات النمو ، التى هى استمرار للحلقات المتكونة فى الجذع (شكل ـ 7 ـ43 جهة اليمين) .

وما دامت الاغصان الميتة موجودة على الشجرة فانها ستكون سببا فى تكوين عقد من النوع الفضفاض ، ومثل هذه العقد ستؤثر بطبيعة الحال على نوعية الخشب المقطوع فى هذه الأشجار . فلو أن هذه الأغصان الميتة كسرت أو قطعت أو قلمت من الشجرة لعمل الكامبيوم الموجود فى الجذع على تغطية هذه الاعقاب أو السطوح كلية ولتم طمرها نهائيا . ولهذا السبب يحبذ تقليم الأغصان السفلى حالما تموت ، للحصول على خشب ذى نوعية أفضل وخال من هذه العقد بقدر الامكان . بالاضافة إلى ذلك هناك فائدة أخرى لتقليم هذه الأغصان الميتة التى يمكن أن تكون سببا فى دخول بعض الكائنات الحية الصغيرة التى تعمل على تفسخ أجزاء من جذع الشجرة .

تقليم أشجار الظل وأشجار الفاكهة : Pruning of Shade or Fruit Trees

عملية تقليم الأغصان فى الأشجار عملية عادية يقوم بها صاحب الحديقة ، وهى غالبا ما تجرى بطريقة غير صحيحة . حيث غالبا ما يقطع الغصن من منطقة تبعد عدة بوصات عن الجذع تاركا وراءه ـ بروزا من أعقاب الغصن . ولكن الطريقة الصحيحة هى أن الغصن يجب أن يقطع بحيث يكون سطح القطع بنفس مستوى سطح الجذع . ومثل هذا النوع من القطع سيقلل من امكانية التفسخ ، لأن نسيج تغطية الجروح الذى سيغطى سطح مثل هذا النوع من القطع سيكون أسرع بكثير مما لو كان القطع أكثر بعدا . وعند قطع الأغصان التى هى من الحجم المتوسط والكبير يجب ألا تستخدم طريقة **القطع الواحد ، لنتجنب ما يمكن**



شكل (7ـ44) شكل تخطيطى يبين الاسلوب الصحيح لقطع فرع اثناء التقليم .
أ ـ القطع الابتدائى .
ب ـ القطع الثانى .
ج ـ د ـ القطع النهائى . ان القطع المبين بالخط المتقطع الملون سوف لن يلتئم بالسرعة التى يلتئم بها القطع الاكبر والاقرب الى الجذع .

ان يحدث من تقشير طبقة القلف عن الخشب اثناء سقوط الغصن ولهذا السبب فان اضمن الطرق التى يجب اتباعها لمنع مثل هذا الضرر الذى قد يحدث هو ان يقطع الغصن من على مسافة قدم واحد من الجذع . ويتم ذلك عن طريق القطع الثنائى الاول يبدأ من الجهة السفلى الى الاعلى وتتوقف عند المركز تقريبا (شكل 7 ـ 44 أ) والثانى من الاعلى الى الاسفل على ان تترك مسافة قصيرة جدا بحيث لايكون متقابلا (شكل 7 ـ 44ب) ويستمر فى القطع العلوى حتى سقوط الغصن . بعد ذلك يعمل القطع النهائى لازالة النتوء المتبقى من الغصن بحيث يكون بنفس مستوى سطح الجذع (شكل 7 ـ 44 جـ ، د) .

الخلاصة Summary

1 ـ تتألف الساق داخليا من ثلاثة انظمة من الانسجة: النسيج البشرى dermal والنسيج الحزمى vascular والنسيج الوسطى ground tissue، ولايقتصر وجود هذه الانظمة على الساق فقط، بل يتعداها الى كل اجزاء النبات الاخرى، يتألف نظام التوصيل فى الساق اساسا من الحزم الوعائية التى تمتد بدورها داخل الاوراق مكونة آثار الاوراق، وتترتب هذه الحزم فى ذوات الفلقتين على شكل حلقة، اما فى ذوات الفلقة الواحدة فتكون مبعثرة فى النسيج الوسطى،

2 ـ النمو الحجمى نوعان: النمو فى الطول (الارتفاع) والنمو القطرى وفى المقابل هناك نوعان من المرستيمات: المرستيمات القمية (الطرفية) apical meristems وهى المسئولة عن النمو فى الطول ثم المرستيمات الجانبية lateral meristems التى هى الكامبيوم والكامبيوم الفلينى المسئولة على النمو القطرى.

3ـ من جهة الاصل فان الانسجة المشتقة من المرستيمات الطرفية تمثل الانسجة الابتدائية اما تلك المشتقة من المرستيمات الجانبية فهى الانسجة الثانوية. النمو الابتدائى ينتج عنه زيادة فى الارتفاع فى حين ان النمو الثانوى تنتج عنه الزيادة القطرية.

4 ـ يحدث الانقسام الخلوى اثناء النمو فى الطول ليس فقط فى القمة المرستيمية بل حتى بصورة اكبر فى المناطق التى تلى القمة اى السلاميات الفتية . فالمرستيمات الوقتية التى تنشأ فى السلامية تتوسع ليس على حساب انقساماتها فقط بل بصورة رئيسية على حساب مايحدث من استطالات لهذه الخلايا وهذا بطبيعة الحال سينعكس على الزيادة فى طول السلامية ومن هنا يتضح ان الزيادة فى الطول الذى يحدث فى الطرف النهائى ماهو الا نتاج للزيادات التى تحدث فى طول السلاميات المجاورة للقمة النامية.

5 ـ الانسجة الابتدائية الناضجة هى اللب والخشب الابتدائى ثم اللحاء الابتدائى، وكذلك القشرة والبشرة، وتنشأ الانسجة الوغائية الابتدائية من خلايا الكامبيوم الاولى procambium الذى اصله من المرستيم الطرفى، وتتمايز هذه الخلايا الى الخشب الابتدائى واللحاء الابتدائى وكذلك يمكن ان تعطى مجموعة من خلايا الكامبيوم. وهذا الكامبيوم عند انقسامه يكون بدوره اللحاء الثانوى فى الجهة الخارجية منه بينما يكون الخشب الثانوى الى الداخل.

6 ـ ينشأ الكامبيوم من مصدرين: النوع الاول هو الاصل المغزلى fusiform initials، الذى يعطى عند انقسامه خلايا متطاولة عموديا هى الخشب الثانوى واللحاء الثانوى، والنوع الثانى هى اصل الخلايا الشعاعية ray initials التى تكون الاشعة الوعائية.

7 ـ خشب سيقان المخروطيات يتألف بشكل رئيسى من القصبات التى تدعم النبات وتقويه ثم تقوم بتوصيل الماء اما فى سيقان الخشب الصلد فان الذى يقوم بتوصيل الماء هو الاوعية اما مايقوم بوظيفة الدعم بشكل رئيسى من خلايا الخشب فهى الالياف ويمكن تمييز الخشب الصلد عن الخشب العصارى بوجود الاوعية فيه.

8 ـ عناصر الوعاء شأنها شأن القصبات والالياف، تملك ثقوبا على جدرانها الجانبية وتكون هذه الثقوب مفتوحة فقط فى الجدار الثانوى . والاوعية تتألف من عناصر الوعاء المترابطة من اطرافها ، وعناصر الوعاء هذه ترتبط عند النهايات بواسطة جدران مثقبة.

9 ـ القصبات والاوعية والالياف تفقد نوياتها وسيتوبلازماتها عند النضوج وتبقى الاشعة الوعائية الموجودة فى الخشب العصارى حية، فى حين ان الخشب نفسه غير حى، والشعاع الوعائى عبارة عن نسيج من خلايا مرتبطة على شكل شريط افقى تتوسع باتجاه نصف قطرى خلال الخشب واللحاء.

10 ـ حلقة النمو تتألف من الخشب المبكر والخشب التالى

(المتأخر) لفصل نمو واحد وحلقة النمو تمثل مقطعا عرضيا لمخروط مؤلف من نسيج خشبى والذى يحدث بفعل نشاط الكامبيوم خلال فصل نمو واحد.

11 ـ مجموعة الانسجة التى خارج الكامبيوم فى ساق خشبى تدعى بالقلف ويتألف القلف فى الساق الفتية من اللحاء والقشرة والبشرة. القشرة فى سيقان النباتات الخشبية وفى بعض سيقان النباتات العشبية محاطة من الخارج بطبقة من الفلين ، فى السيقان الخشبية القديمة تنشأ طبقات الفلين المتعاقبة فى عمل القلف، ويمكن ان يتخلل الفلين فتحات تعرف بالعديسات Lenticels التى تستخدم فى التهوية.

12 ـ اللحاء يشتمل على الانابيب الغربالية والخلايا المرافقة وخلايا اللحاء البرنشيمية وايضا الالياف السكلرنشيمية، بعض هذه الخلايا يمكن ان تكون موجودة فى الانواع المختلفة من السيقان الانابيب الغربالية توجد دائما فى مغطاة البذور Angiosperms.

13 ـ الكامبيوم فى النباتات الخشبية يقوم بوظيفته لسنوات عديدة ولذلك فان النمو الثانوى يكون واضحا فى مثل هذه السيقان. اما الكامبيوم فى السيقان العشبية فيؤدى وظيفته لفصل نمو واحد فقط ـ ولذلك لا توجد حلقات نمو ، ثم ان الانسجة الثانوية تكون قليلة نسبيا من حيث الكم . وتخلو نباتات ذوات الفلقة الواحدة من الانسجة الثانوية عادة

14 ـ ينتقل الماء خلال القصبات والأوعية الموجودة فى الخشب ، أما الغذاء فينتقل بصورة رئيسية خلال الأنابيب الغربالية فى اللحاء . والخشب يمثل أهم الأقنية لنقل العناصر المعدنية . الاشعة الوعائية تقوم بخزن الغذاء ، بالاضافة إلى أنها تقوم أيضا بنقل الغذاء والماء . يتم توصيل الماء بشكل رئيسى عن طريق الخشب العصارى sapwood .

15 ـ عند عمل قطع مماس فى الساق تكون النتيجة الحصول على خشبى من النوع الذى يدعى بالقطع العادى ، وإن الشكل الذى يتركه مرسوما على اللوح يعتمد بصورة رئيسية على حلقات النمو . ويمكن الحصول على قطع ربعى أو القطع فى مستوى نصف القطر . إذا كانت الأشعة واسعة سيكون منظرها على سطح اللوح المقطوع على شكل خطوط أو أشرطة .

16 ـ العقدة هى الجزء القاعدى للفرع والذى انطمر بخشب الجذع أثناء النمو . والعقدة يمكن أن تكون محكمة الارتباط بالانسجة المجاورة . وهذه الحالة تحصل عندما تكون منطقة القطع عند جزء الغصن المطمور فى الخشب ، عندما كان الغصن حيا . وإن حلقات نموه السنوية ماهى إلا استمرار لحلقات النمو فى الجذع . بينما يضغط ارتباط العقدة بالساق عندما يجرى القطع فى جزء الغصن الذى كان ميتا قبل أن يطمر بالخشب وبذلك سوف لا يكون هناك أى ارتباط بين حلقات النمو فى الجذع والفرع .

النباتات والماء
Plants and Water

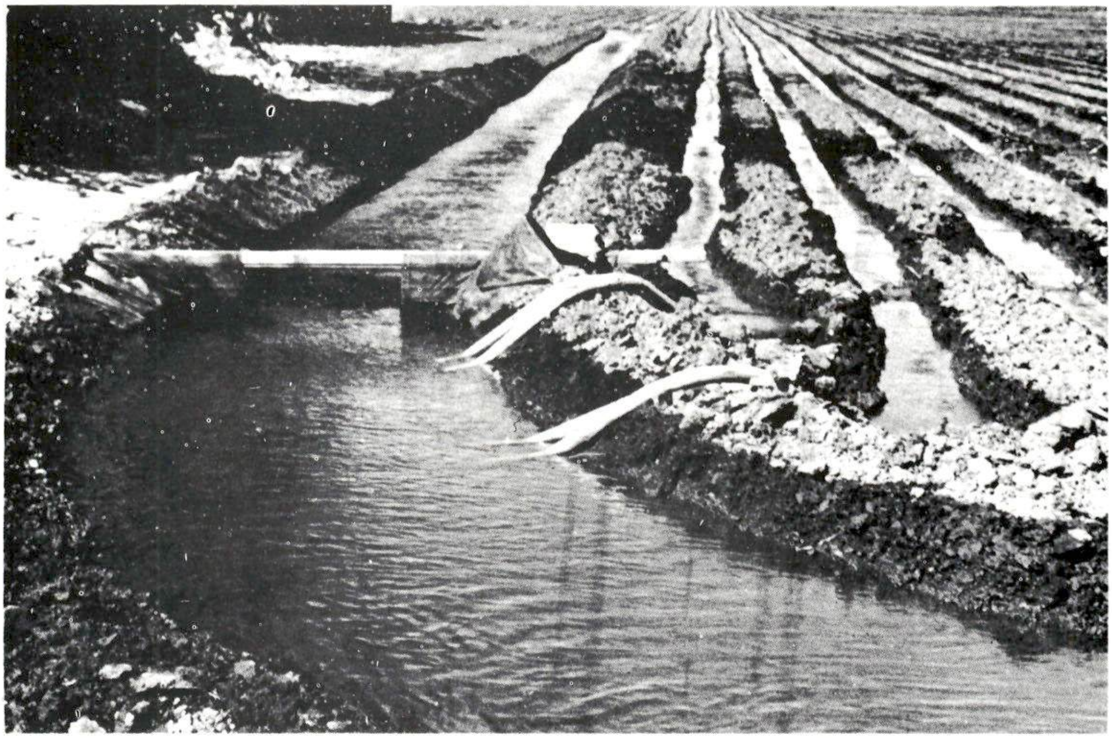

8

النباتات والماء

Plants and Water

يحتل الماء بالنسبة للنبات مكان الصدارة فى الاهمية من بين كل العوامل البيئية المحيطة . ومن المعلوم ان النباتات التى تعيش على اليابسة تحتاج الى 400 رطل من الماء لانتاج رطل واحد من المواد الجافة فى النبات . وربما لايستوفى النبات حاجته هذه بالكامل . واهمية الماء للنبات تتضح اذا ما علمنا ان العمليات الفسيولوجية التى تجرى فيه تكون فى صورة محاليل او فى وجود الماء على اقل تقدير . وعلى سبيل المثال تستخدم عملية البناء الضوئى ثانى اوكسيد الكربون من محلول الخلية ، وتحلل الماء كمصدر للهيدروجين وتعتمد على عدد هائل من الانزيمات ألتى لايأتى مفعولها الا فى وسط مائى . كما ان الماء يشكل مايزيد عن 90٪ من وزن الخلايا الفتية ، حيث يقوم الماء فى الخلية بوظيفة الدعم وكمحيط تتحرك فيه المواد الكيميائية وتجرى فيه تفاعلاتها . كما تنتقل الاملاح من التربة والمواد الغذائية المنتجة فى الاوراق فى صورة محاليل الى اجزاء النبات الاخرى . وتتراوح نسبة الماء فى انسجة النبات النشطة فسيولوجيا بين 40٪ فى البذور مكتملة النمو الى 95٪ او اكثر فى الخلايا سريعة النمو (الخلايا الفتية).

بينت التقديرات ان حوالى ثلثى سطح اليابسة يفتقر الى الكمية المثلى من الامطار لنمو النبات . ولذلك تستكمل كميات المياه المطلوبة للنبات بواسطة الرى عند توفر مصادر المياه . ونذكر هنا على سبيل المثال ان حوالى 35 مليون هكتار – وهى تمثل مساحة ولاية الينوى الامريكية (احدى الولايات الغربية)– تروى رياً كاملا . كما ان الكثير من الانتاج الزراعى للعالم يستعان فيه بالرى كاملا او بشكل رئيسى (شكل 8–1). ويفترض فى بعض الاحيان ان تكثيف الرى ، حتى بالاستعانة بمياه البحر المحلاة ، سيستعان به من اجل سد حاجة سكان الارض من الاغذية . هذا مع العلم بأن المردود الاقتصادى من المياه المستخدمة فى الرى لايزال منخفضا اذا ما قورن بالمردود الاقتصادى لاستغلال المياه فى الصناعة والاغراض المنزلية . ولهذا السبب تحدث بعض الازمات فى اقتسام المياه كما هو معمول به فى جنوب غرب الولايات المتحدة . واذا ما تحدثنا غن مدى توفر المياه على مستوى العالم ككل جنبا الى جنب مع توفر الغذاء نجد انهما سوف يحددان تعداد السكان الذى يمكن اعاشته على الارض بالمستوى الحالى الموجود فى الاقطار الاكثر تطورا .



شكل (8 ـ 1) الرى قبل الزراعة فى كاليفورنيا . يحافظ على مستوى الماء فى القناة العريضة بواسطة سد قماشى يظهر على يسار الصورة . ويعاير الماء الى القنوات بواسطة خراطيم من البلاستيك .

النتح : Transpiration

على الرغم من اهمية المياه فإن كميته المستغلة فعليا فى عمليات النبات لاتشكل الا جزءا قليلا من الكمية التى يمتصها النبات من التربة . وان نسبة كبيرة من المياه تصل الى 99٪ من مجموع مايمتصه النبات تتسرب عبر الاوراق والساق على هيئة بخار ماء . وتسمى هذه العملية بالنتح . وتفقد نسبة من الماء من سيقان النباتات الخشبية والعشبية ، غير ان النسبة الكبرى من المياه المفقودة تحدث من خلال الاوراق . وينقسم النتح الى صنفين : عبر الثغور Stomatal وعبر الادمة (الكيوتكل) Cuticular . هذا مع العلم بأن النسبة العليا من فقد الماء تحدث عبر الثغور (شكل 5ـ2 ، 5ـ3) . اما فقد المياه من خلال الادمة فيتراوح بين 5ـ10٪ من اجمالى المياه المفقودة من النباتات فى المناطق المعتدلة .

ويمكن التعرف على فقد الماء بالنتح بسهولة وذلك بالاستعانة بنبات مزروع فى اصيص صغير . ويمكن ايقاف تبخر الماء من الوعاء والتربة بتغطيتهما باحكام وذلك بصفائح معدنية رقيقة او رقائق من اللدائن . ويوزن النبات باصيصه وتكرر عملية الوزن على فترات يحدد بعدها فقد الوزن فى وحدة الزمن ، وهو الفقد عن طريق النتح فقط . واذا مااستعنا بنباتين نستطيع تحديد تأثر سطوع الشمس او الظل ، وكذلك دراسة تأثير الهواء الدافىء والبارد ، وكذلك تأثير التربة الجافة والرطبة .

النتح وتركيب الورقة : Leaf Structure and Transpiration

ان اغلب انسجة الورقة تتدخل فى عملية النتح بصورة مباشرة او غير مباشرة . فتركيب الورقة (شكل : 5ـ2)

يسهل عملية النتح . ولان الورقة تكون فى الغالب متسعة ومسطحة فإن سطحها المعرض للهواء والشمس كبير . ولوجود البشرة المغطاة بمادة الكيوتين من وجهى الورقة مما يعرقل فقد الماء ، غير ان الماء يتبخر من اسطح خلايا النسيج الوسطى المبتلة للورقة ، ويهرب بخار الماء من خلال العدد الهائل من الثغور الموجودة على احد سطحى الورقة او كليهما .

ويتباين عدد الثغور Stomata تباينا ملحوظا من صنف الى آخر من اصناف النباتات كما وان عدد الثغور الموجودة فى وحدة المساحات يختلف هو الآخر الى حد ما فى الصنف الواحد من النبات ، ويعتمد ذلك الاختلاف على وضع الورقة وعلى الظروف المحيطة المتوفرة اثناء نموها . فإذا ماجاء نمو الورقة سريعا بعد تحديد الثغور فسوف تتباعد الثغور نتيجة لنمو الورقة ويصبح عهد الثغور فى وحدة مساحات الورقة اقل . والجدول (8ـ1) يبين الاعداد النمطية للثغور الموجودة فى اوراق بعض النباتات الشهيرة . وعلينا ان نلاحظ ان اوراق النباتات الخشبية مثل البلوط والتفاح والبرتقال بها ثغور فى السطح الاسفل من الورقة ، بينما تحمل اوراق النباتات العشبية ثغورا على السطح العلوى ايضا ، مع انها اقل عددا . ويكثر مثل هذا التوزيع فى العادة .

جدول (8 ـ 1) عدد الثغور فى البوصة المربعة
(حوالى 625 مم²) من سطح الورقة

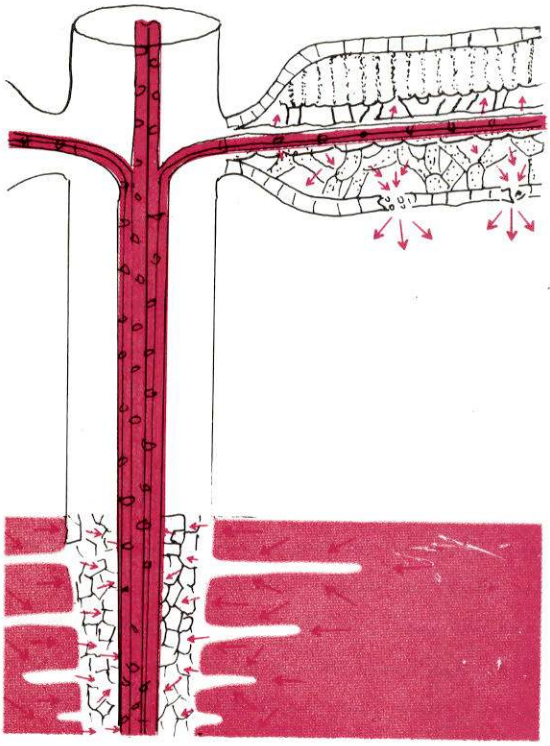
اسم النبات	الثغور العليا	الثغور السفلى
apple (Pyrus malus) التفاح	-	250,000
Bean (Phaseolus vulgaris) الفاصوليا	26,000	160,000
Corn (Zea mays) الذرة	39,000	64,000
Blackoak (Quercus البلوط الاسود	-	357,000
velutina)	-	290,000
Orange (Citrus sinensis) البرتقال	18000	175,000
Pumpkin (Cucurbita pepo) القرع	55000	100,000
Sunflower (Helianthus عباد الشمس annuus)		

ان التركيب الداخلى للورقة مؤلف الى حد كبير فى العادة من خلايا الجدران من النسيج الوسطى محاطة بواسطة تركيبات من المسافات البينية شبيهة بخلايا النحل تشكل من 15ـ40٪ من حجم الورقة (شكل : 5ـ8) . كما تترابط هذه الفجوات عبر الورقة فى نظام متشعب من المجارى الهوائية تفضى الى فجوات اكبر موجودة وراء الثغور مباشرة . ويؤدى تعرض اجزاء من سطوح خلايا النسيج الوسطى على الفجوات بين الخلايا الى زيادة كبيرة فى السطح المعرض الذى يتبخر منه الماء الى الهواء . ولهذا يصبح ذلك القسم من السطوح الداخلية المعرض للهواء اضعاف مساحة سطح الورقة .

وخلال عملية النتح يؤدى تبخر الماء من سطوح الخلايا العمادية Palisade والخلايا الاسفنجية Spongy للنسيج الوسطى للورقة عبر المسافات البينية بين الخلايا الى تركيز اعلى لبخار الماء فى هذه المسافات . وينتشر هذا البخار بعد ذلك من خلال الثغور الى الهواء حالما تكون الثغور مفتوحة او عندما يقل تركيز بخار الماء فى الهواء عنه داخل الورقة . والماء المفقود من جدران الخلية الرطبة يحل محله الماء من البروتوبلاست . ويحافظ البروتوبلاست بدوره فى العادة على نسبة الماء الموجودة به عن طريق تحرّك الكميات المناظرة من الخلايا المجاورة التى تستعيضه فى نهاية الامر عبر عروق الورقة (شكل 5ـ8)، والتى تدخل ضمن الاجزاء المكونة لمنظومة التوصيل الممتدة حتى مصادر المياه فى التربة (شكل 8ـ2).

الحركة الميكانيكية للثغور : The Mechanism of Stomatal Movement

لكون الثغور هى المخرج الاساسى لهروب الماء ، يرتبط حجم فتحة الثغر ارتباطا وثيقا بمعدل النتح ؛ هذا على الرغم من ان مجموع فتحات الثغور لاتشكل اكثر من 1٪ من مساحة الورقة . ومن المعلوم ان ثغور غالبية النباتات تنفتح اثناء النهار وتنغلق ليلا . وهناك ظروف خاصة ربما تؤدى الى انغلاق الثغور حتى اثناء النهار ، وخصوصا بعد الظهر . وعملية انفتاح وانغلاق فتحات الثغور او تغيير اقطار هذه الفتحات تحدث جميعها عن طريق التغيرات الجارية فى اشكال الخلايا الحارسة guard cells وتركيب هذه الخلايا

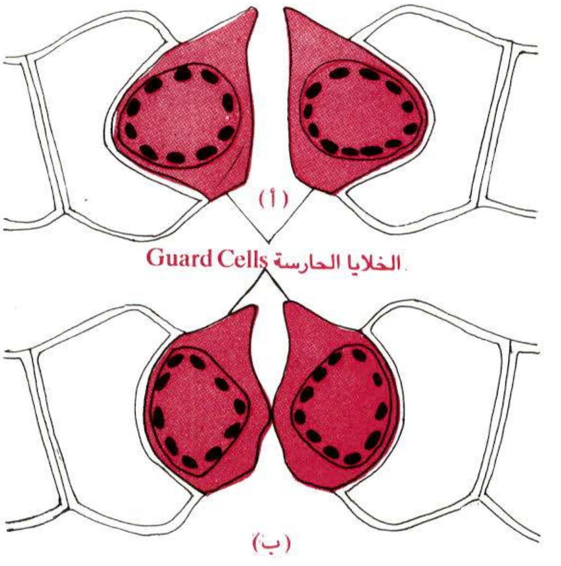


شكل (8 ـ 2) رسم تخطيطى يبين مسار الماء من التربة الى الأوراق ومن ثم الى الهواء . يدخل الماء عبر الشعيرات الجذرية وغيرها من عناصر الجذر الفتية .

يجعل من زيادة انتفاخها نسبيا فى انفتاح الثغر ، وعلى العكس يؤدى نقصان هذا الضغط الى انغلاق الفتحة . وعلى وجه العموم نجد ان الجدار الداخلى المجاور لفتحة الثغر من كل خلية حارسة يكون اسمك من الجدار المقابل اى الخارجى . ويزداد الضغط الانتفاخى للخلايا الحارسة بدخول الماء اليها من الخلايا المجاورة . وبانتفاخ الخلايا الحارسة تتأثر جدرانها الخارجية وهى الارق بشكل اكبر من تأثر الجدران السميكة اى الداخلية ، ولذلك تتمدد الى داخل خلايا البشرة المحيطة . ويؤدى التغير الحاصل فى شكل الخلايا الحارسة الى زيادة مساحة فتحة الثغر (شكل 8ـ3 أ) . اما نقصان الانتفاخ فى الخلايا الحارسة فيحدث بسبب فقدان الماء ، ومن ثم يسمح تقلص الحجم بأن تستعيد الجدران الداخلية المرنة شكلها الاولى مما يؤدى الى انغلاق الثغر (شكل 8ـ3 ب) .

ولقد تأكدت حقيقة ان الحركة فى الثغر ماهى الا حركة يسببها تغير فى انتفاخها ، وذلك من اجراء اولى التجارب للكشف عن هذه الآلية عام 1856 . ويتغير الضغط الانتفاخى بفعل العديد من العوامل من بينها الضوء ، درجة الحرارة ونسبة الرطوبة . ويولى اهتمام اكبر بالعامل الاول بسبب ان دور الضوء فى عمليات النتح والغلق لايزال غير واضح تماما ، على الرغم من تعدد الابحاث فى هذا المجال . ولقد افترضت فرضيات كثيرة ربما كانت اشهرها فرضية النشاء والسكر . فكما سبق وان اشرنا يجرى هضم النشاء الزائد فى البلاستيدات الخضراء لخلايا النسيج الوسطى من الورقة اثناء الليل اذ يتحول الى سكر لينتقل بدوره الى الاجزاء الاخرى من النبات . وعلى العكس من ذلك يميل النشاء الى التراكم اثناء الليل فى البلاستيدات الخضراء للخلايا الحارسة . اضف الى ذلك ان الانزيمات التى تكون النشاء والتى تساعد على هضمه والتى تحويها الخلايا الحارسة تميل الى ان تكون حساسة الى حد كبير تجاه التغيرات فى حموضة البيئة المحيطة بها .

شكل (8 ـ 3) يبين قاطعا فى ثغر ويظهر شكل الخلايا الحارسة .
أ ـ عندما يكون الثغر مفتوحا
ب ـ عندما ينغلق الثغر



فاستنادا الى فرضية النشاء والسكر تنفتح الثغور تبعا للتتابع التالى فى الاحداث :

(1) عندما يسقط الضوء على الورقة تواصل البلاستيدات الخضراء من الخلايا الحارسة نشاطها فى البناء الضوئى الى الحد الكافى لتخفيض تركيز ثانى اكسيد الكربون المتراكم من عملية التنفس اثناء الليل . وتقل بذلك نسبة الحموضة فى الخلايا الحارسة .

(2) يصبح الانخفاض الجارى فى نسبة الحموضة مشجعا للتحويل الانزيمى للنشاء الى سكر داخل الخلايا الحارسة .

(3) يؤدى تكون السكر الى تقليل الماء فى الخلايا الحارسة مما يؤدى بدوره الى امتصاص الماء وزيادة الضغط الانتفاخى ، هذه الزيادة ينتج عنها فتح الثغور . واثناء الليل يتراكم ثانى اوكسيد الكربون الناتج عن عملية التنفس مما يؤدى الى زيادة حموضة الخلايا الحارسة ويؤدى ايضا الى تحول السكر الى نشاء ويتسرب الماء من الخلايا الحارسة مما يتسبب فى انغلاق الثغور .

والذى سبق ذكره ماهو الا فرضية تشرح تأثير الضوء على انفتاح وانغلاق الثغور . وحتى لو صحت هذه انفرضة بحذافيرها فلا تكون الآلية الناتجة عنها فعالة الا لبعض مجاميع النباتات فقط ، اذ تتغير هذه الآلية فى مجاميع اخرى .

وتجدر الاشارة الى ان حقيقة ان الثغور تنفتح نهارا وتنغلق ليلا لاتنطبق على كل النباتات ، اذ نجد عكس ذلك تماما فى مجموعة من النباتات العصارية Succulents بما فى ذلك عائلة حى العالم ـ السيدوم Stonecrop (Sedum) Family (Crassulaceae) واصناف الباهرة للصبار الامريكى Agave وبعض اركيدات المناطق الاستوائية Tropical orchids وانواع الكاكتوس Cacti والاناناس المزروع Cultivated Pineapple فى كل هذه النباتات تنفتح الثغور ليلا وتنغلق تقريبا فى النهار . علما بأن النباتات العصارية على وجه العموم تحوى اوراقها عددا اقل من الثغور فى وحدة مساحات الورقة اذا ما قورنت بأوراق النباتات الاخرى . كما وان بعض النباتات العصارية (ويلاحظ هذا على وجه الخصوص فى الصبار والاناناس) يميل معدل النتح فيه الى الزيادة اثناء الليل عنه اثناء النهار . وبناء على ذلك يمكن القول ان فتحات الثغور تتأثر بفعل الضوء ودرجة الحرارة معا ، اذ تنغلق فى الضوء عندما تكون درجة الحرارة عالية . ولا يتأتى انغلاقها اذا كانت درجة الحرارة منخفضة نسبيا حتى بوجود الضوء . ويمكن تفسير هذا النمط فى التأثير بأن محتوى الماء فى الخلايا الحارسة يصبح العامل المسيطر على عملية النتح ، هذا على الرغم من ان بقية اجزاء النبات لم تبد عليها اية ظاهرة من ظواهر نقص الماء .

وتحتوى النباتات العصارية على شكل غير عادى من التحولات الغذائية العضوية التى تسمى فى بعض الاحيان « بكراسيولاسين »ـ التحول الغذائى «Crassulacean» metabolism وتتصف هذه التحولات بتراكم الاحماض العضوية ومنها حامض الماليك malic acid فى كلورنشيما النبات خلال الليل . علما بأن السكر وثانى اوكسيد الكربون مطلوبان لتخليق هذه الاحماض . هذا مع العلم بأن مصدر ثانى اوكسيد الكربون هو عملية التنفس والهواء المحيط . وتتحلل الاحماض الامينية فى الضوء محررة ثانى اوكسيد الكربون الذى يدخل بدوره فى عملية البناء الضوئى . وتعد ظاهرة تراكم الاحماض العضوية فى الظلام وتحللها فى الضوء عبارة عن تكيف يؤدى الى ايجاد كميات كبيرة من ثانى اوكسيد الكربون اللازم للبناء الضوئى حتى إذا ما أغلقت الثغور تماما

معدل النتح : Rate of Transpiration تعددت التقديرات حول كمية الماء المفقودة بواسطة النتح . ومن المعلوم أن معدل فقد النبات للماء فى هذه العملية يتباين كثيرا خلال اليوم الواحد وعبر الموسم . والحاكم هنا هو تركيب الورقة ، هذا بجانب عوامل البيئة المحيطة واذا ماحسب هذا المعدل لعدة نباتات مزهرة وأخذ خلال ساعات وسط النهار لوجدنا أنه حوالى 1.25 غرام من الماء لكل 100 سم^2 من سطح الورقة (وهذا يعادل نصف كوب من الماء لكل ياردة مربعة) . ونبات الذرة الواحد يمكن أن ينتح مايزيد عن نصف غالون من الماء (الغالون = 3.785 لتر) ، أما هكتار الذرة فيفقد أكثر من 400,000 غالون من الماء خلال فصل النمو . وهذا يوصلنا للمقارنة التالية : إنه إذا وجد إنسان يستهلك نفس كمية الماء التى ينتحها نبات الذرة لكان عليه أن يشرب من 10 إلى 15 غالونا فى اليوم .

كثيرا مايعبر عن المعدل النسبى للنتح بمصطلح نسبة النتح transpiration ratio . وهذه تساوى اجمالى وزن ماء النتح مقسوما على وزن المادة الجافة المتكونة فى النبات خلال نفس الفترة . وتعتبر نسبة النتح المساوية لـ 200 غرام من ماء النتح لكل غرام من المادة الجافة المتراكمة من النسب المنخفضة . أما النسب من 300 ـ 600 فتعتبر نمطية فى حين أن 1000 ـ 2000 تعتبر من النسب العالية . وعلينا أن نتذكر أن نسب النتح تعتمد على كل من الماء المفقود وكذلك وزن المادة الجافة للمنتج . وتوضح هذه العلاقة من خلال تجربة يستخدم فيها نبات الذرة فى أرض فقيرة . فنبات الذرة النامى فى تربة غير مسمدة فقد بالنتح 21000 غالون من الماء بوشل من الذرة المنتج أى أن نسبة النتح كانت 1590 رطلا من الماء لكل رطل من الذرة . وفى قطعة ارض مجاورة سمدت تربتها جيدا كان محصول الذرة أعلى بكثير ، لذا صارت نسبة النتح فيه لاتزيد عن 423 . وعلى وجه العموم فإن النباتات التى تعطى نموا جيدا فى ارض مسمدة تكون محصوليتها من المادة الجافة عالية لكل وحدة حجم من الماء المتاح . كما وأن هذه النباتات تستخدم ماء أكثر لكل هكتار ، وإلا أصبح فعل الأسمدة محدودا إذا لم توفر لها الكمية المناسبة من الماء .

آلية النتح : The Mechanism of Transpiration

يطابق النتح فى الأساس عملية تبخر الماء من سطح معرى . هذا فيما عدا تلك الاختلافات الناتجة عن تركيب الورقة . وينطبق هذا أيضاً على العمليات الفيزيائية ذات العلاقة (فصل ـ 4) فالجدران الرطبة لخلايا النسيج الوسطى والمعرضة فيها المسافات البينية داخل الورقة تكون فى مجموعها سطحا كبيرا للبخر (شكل 5 ـ 8) وفى العادة يزيد تركيز بخار الماء فى المسافات البينية بين الخلايا عن الهواء الخارجي . ولذلك فعندما تنفتح الثغور يكون عدد جزيئات الماء الخارجة من الورقة عبر الثغور أكبر من نظيرتها الداخلة خلال وقت معلوم ، ولذا تؤدى هذه الحالة إلى فقد النبات لبعض الماء .

وعوامل البيئة المحيطة الأكثر اهمية من حيث التأثير على معدل النتح هى درجة الحرارة للورقة ونسبة رطوبة الهواء والضوء والرياح ومحتوى الماء فى التربة .

درجة الحرارة : *Temperature* لقد سبق أن بينا فى الفصل الرابع أن معدل تبخر الماء يزيد إلى الضعف إذا ما رفعنا درجة الحرارة بمعدل 10 ـ 11 درجة مئوية (18 ـ 20 ف°) . وبسبب هذ التأثير تصبح درجة حرارة الورقة وما تحويه من ماء العامل البيئى الأهم بالنسبة لتأثيره على النتح من الأوراق ذات الخلايا المملوءة بالماء . هذا مع العلم بان درجة حرارة الأوراق الموجودة فى الظل تقارب درجة حرارة الهواء المحيط . أما تلك المعرضة لأشعة الشمس فتزيد درجة حرارتها عن درجة حرارة الهواء المحيط من 5 ـ 10 درجات مئوية (9 ـ 18 ف°) ، وربما تزيد عن ذلك .

نسبة الرطوبة : *Humidity* عندما يكون إمداد الأوراق بالماء جيدا وتكون الثغور مفتوحة ، يعتمد معدل النتح على الفرق بين نسبة تركيز بخار الماء لجزيئاته داخل المسافات البينية للخلايا فى الورقة وبين تلك النسبة فى الهواء المحيط بالورقة . وفى ظل الظروف الطبيعية يحتوى الهواء دائما على بخار الماء بنسبة تركيز نمطية تتراوح بين 1 ـ 3 ٪ . وتتحرك بعض جزيئات بخار الماء هذه عبر ثغور الورقة ضمن عملية معاكسة للنتح . ويتناسب معدل الحركة الداخلة هذه طرديا مع نسبة تركيز بخار الماء فى الهواء ، أى بعبارة أخرى مع نسبة الرطوبة . علما بأن حركة بخار الماء من الهواء إلى الورقة سوف يؤدى بالضرورة إلى انقاص صافى معدل فقد النبات للماء ، وبناء على ذلك ـ وإذا ماثبتت باقى العوامل يتناقص النتح مع زيادة نسبة الرطوبة فى الهواء .

ولكى يتم التوصل إلى فهم تأثيرات درجة الحرارة ونسبة الرطوبة على عملية النتح يمكننا أن نأخذ ورقة فى درجة حرارة 20 م° (68 ف°) . ولنفترض الآن أن الظروف تؤدى إلى أن تهرب جزيئات الماء من الورقة بمعدل 100 جزىء فى الثانية من مساحة صغيرة . وفى نفس الوقت يدخل 50 جزىء من الماء إلى الورقة بفعل رطوبة الهواء . وبذلك يصبح صافى الفقد ، وبعبارة أخرى معدل النتح بناء على ذلك 50 (مئة ناقصة خمسين) جزىء فى الثانية . وإذا ما ارتفعت درجة حرارة الورقة والهواء إلى 31 م° (88 ف°) فإن معدل تبخر الماء وفقده من الورقة يزيد إلى الضعف اى إلى 200 جزىء فى الثانية . أما معدل رجوع الماء من الهواء فيظل ثابتا مع ذلك ، اى 50 جزيئا فى الثانية . علما بأن التأثير الضئيل الناتج من

ارتفاع درجة الحرارة على سرعة جزيئات البخار في الهواء فيزداد ضآلة بفعل التمدد (تمدد الهواء) . وبناء على ذلك تقل نسبة تركيز بخار الماء في الهواء المحيط . ومن هنا يكون صافي الفقد 150 (200 ـ 50) جزيء في الثانية . ومن هنا يتضح أن معدل النتح قد زاد ثلاثة أضعاف ؛ ومثل هذه الاستجابة لزيادة درجة الحرارة تحدث بسبب تأثير زيادة الأخيرة على بخار الماء ، زيادة تركيز بخار الماء في الورقة ، بدون تأثير مباشر على الضغط الانتشاري للبخار الموجود في الهواء .

الضوء: *Light* يؤثر الضوء على معدل النتح بطريقين : (1) تمتص الورقة المعرضة للشمس طاقة الشمس الاشعاعية ولا تحتاج عملية البناء الضوئي إلى أكثر من جزء ضئيل من هذه الطاقة ، لذا يتحول الجزء الأكبر المتبقي الى طاقة حرارية ، ترفع بدورها درجة حرارة الورقة إلى درجة أعلى من درجة حرارة المحيط . وترفع الحرارة المكتسبة هذه من معدل النتح في العادة وبذلك تؤدي حقيقة ارتفاع درجة حرارة الأوراق المعرضة لأشعة الشمس عن الهواء إلى الاسراع بعملية النتح ، حتى ولو كان الهواء المحيط مشبعا ببخار الماء ، (2) يؤثر الضوء ، حتى وإن لم يكن من أشعة الشمس المباشرة ، أيضا على النتح عن طريق تأثيره على فتحة الثغر من جراء الآلية التي سبق شرحها .

الرياح : *Wind* للرياح تأثيران على النتح ، علما بأن هذين التأثيرين متعاكسان . التأثير الأول يحدث عندما تتحرك الرياح فوق الورقة مما يؤدي إلى كنسها لأي طبقة من بخار الماء تكون قد تراكمت بالقرب من السطح نتيجة للنتح . ومن هنا نجد أن الرياح ستعمل على تقليل نسبة الرطوبة في الهواء الملامس مباشرة للثغور ، وبذلك يقل رجوع بخار الماء من الهواء إلى الورقة مما يؤدي بدوره إلى زيادة صافي فقد الماء من النبات . وفي ظل الظروف الطبيعية لا يكون الهواء ساكنا ابدا ، وبذلك يحدث التأثير المبين أعلاه حتى مع غياب الرياح ذات السرعة الملموسة . وعندما تكون الأوراق معرضة لأشعة الشمس المباشرة يحدث مع ذلك تأثير آخر يكتسب اهمية معينة ؛ اذا ما سخنت هذه الأوراق كما سبق وأن بينا إلى درجات حرارة تزيد بشكل ملموس عن درجة حرارة الهواء المحيط . وفي تلك الأحوال يكون للرياح تأثير ملطف لحرارة الأوراق وذلك عن طريق استجلاب الرياح لأعداد أكبر من جزيئات الهواء الملامس للأوراق . وبذلك يزداد تأثير الهواء كعامل مبرد * للأوراق مما ينتج عنه انخفاض سريع في درجة حرارة الأوراق ، الامر الذي يقربها إلى درجة حرارة الهواء المحيط . ولا يخفى ما لتأثير تبريد الأوراق من خفض ملموس في معدل النتح . ويمكن أن تبين الدراسات التي أجريت على العديد من النباتات في شمال ايطاليا حول تأثير الرياح على معدل النتح . خلاصة تأثير العاملين المذكورين وهي أن معدل النتح لم يتغير في المتوسط لا بالزيادة ولا بالنقصان . اما في هواي Hawai فظهر أن الرياح المعتدلة تميل إلى تخفيض معدل النتح في نبات قصب السكر . ويبين الجدول (8 ـ 2) نتائج تجربة أجريت لدراسة تأثير الرياح على نباتات الذرة المزروعة في أصيص .

جدول (8 ـ 2)

بعض آثار الشمس والرياح على نتح نبات الذرة

	الماء المفقود في الساعة من نبات طوله 60 سم		
	هواء ساكن	رياح بسرعة من 6ـ 9 كم/ساعة	رياح متغيرة
النباتات في الظل	13	17.5	4.5+
النباتات في الشمس	29.1	22.0	7.1−

ويمكن تلخيص ما سبق ذكره في أن الرياح تميل إلى زيادة معدل النتح سواء تحت أشعة الشمس أو في الظل وذلك

* تأثير الهواء كعامل مبرد هو مصطلح يطلق على التأثيرين بالتوصيل conduction والحمل convection . إذ تنتقل الحرارة بالتوصيل من الورقة إلى جزيئات الهواء الملامسة للورقة . وتحمل الرياح كميات الهواء المسخنة بعيدا عن الورقة أو أن الهواء الساخن يتمدد ويصعد إلى الاعلى حاملا معه الحرارة المكتسبة . والتأثير الأخير هو ما يسمى بالحمل . وموجات الحرارة التي يمكن رؤيتها فوق المروج أو على طول طريق واسع بين المدن في أيام الصيف ذات ـ الرياح القليلة أو الهواء الساخن هي شواهد على تحرك الهواء هذا أو على انتقال الحرارة بالحمل . ويحل الهواء الابرد محل الهواء الدافئ الصاعد .

بكنسها لبخار الماء الموجود فى الجو . ولكن تـأثير الـرياح تحت أشعـة الشمس يتبلور فى تبـريدهـا للورقـة الساخنـة ، أى أن الـرياح تقلـل من معدل فقـد الماء ويتغلب التـأثير الأخـير على الأول ، أى على ابعاد بخار الماء المتراكم على الورقة .

المحتـوى المـائى للتـربـة : *Water content of the soil*

يتأثر معدل النتح بالمحتوى المائى للتربـة وكذلـك بمعدل امتصاص الجذور للماء . فخلال ساعات النهار نجد أن معـدل النتح يزيد كثيرا عن معدل امتصاص الماء من التربـة . ويؤدى ذلك بالضرورة إلى افتقـار الأوراق للماء . أمـا فى الليل فتنعكس الآية ، حيث إن درجة حـرارة الهواء والأوراق بـالتبعية تكـون أقل من درجة حرارتها فى النهار ، كما تنغلق الثغور فى المعتاد . ويكـون تأثـير نقص الماء من خـلايا الأوراق هـو خفض معـدل البخر ، وذلك لقلة عدد جـزيئات المـاء فى الخلايـا ، كما يكـون معدل تعويض الماء المفقود أقل . ومع انخفاض المحتوى المائى فى التربة بسبب امتصاص الجذور للماء ، تقل حـركة المـاء من التربة إلى النبات . ويميل هـذا إلى زيادة افتقـار الأوراق للماء. ممـا ينتج عنـه متابعـة انخفاض معـدل النتح . وإذا استمـر المحتـوى المائى للـورقـة فى النقصـان فـإن انتفـاخ الخـلايـا الحارسة يقل ، مما ينتج عنه انغلاق تام تقريبا للثغور ، ويؤدى هذا إلى انخفاض شديد للنتح عبر الثغور .

ويظهر مما سبق ذكره أن النبات يتحكم بـدرجة قصـوى فى معدل فقد المـاء منه . وعلينـا أن نبين مـع ذلك أن غلق الثغـور لا يأتى تحت تأثير مباشر من فقـدان الماء وحـال حدوثـه ولكنه يأتى بعد حـدوث فقد ملمـوس من المحتوى المـائى . إذ يحدث نمطيا انغلاق كامل فى الثغور فقط بعدما يحدث ذبـول wilting ملمـوس فى الأوراق . ومن هنا نجـد أن التحكم فى كميـة المـاء المفقود ليس حدثا متعمدا من جـانب النبات ، ولكنـه ينتج عن تركيب الورقة وتفاعل العوامل البيئية المحيطـة . فحتى انغلاق الثغور جزئيا لا يؤثر تأثيرا كبيرا على معـدل فقد المـاء والدليـل على ذلك أن هذا المعدل لا ينخفض انخفاضا ملموسا إلا عندما تكون الثغور مغلقة بالكـامل تقـريبا (شكـل 5 ـ 17) . وعلى الرغم من محدودية هذا التـأثير فـإن التنظيم غير المبـاشر لفقد الماء ربما يكتسب فعالية كبرى فى الطقس الجاف .

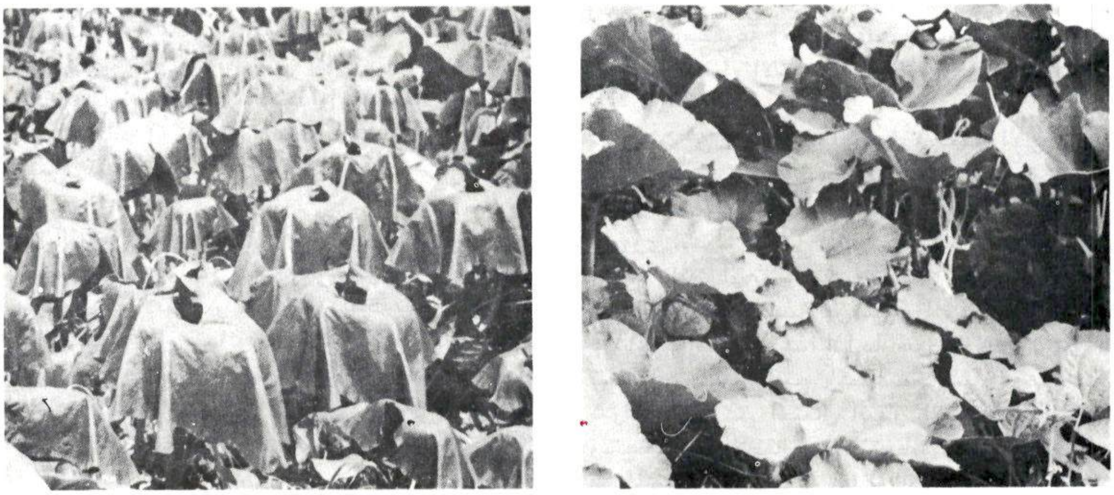
التـأثـيرات الضـارة للنتـح : Injurious Effects of Transpiration

إذا كـان تزود التـربة بـالماء جيـدا ، فإن المعدل العالى للنتح لا يكون شـديد الضرر عـلى النبات ، وذلـك خلال فترات قصيرة على اقل تقديـر . ولكن إذا ما استمـر فقد المـاء فى زيادتـه عن معدل الامتصـاص ، فسرعـان مـا تظهـر التـأثيرات الضـارة للنتـح التى تتبلـور فى ذبـول الأوراق وهـو النتيجة المؤكدة لنقصان الانتفاخ . فالأوراق الرقيقـة تتكون فى الأساس من خلايا برنشيمية رقيقة الجدران مما يسبب ذبولها فى وقت قصير نتيجة لزيادة النتح.. إذ نجد ان أوراق نبـات قرة العين Jewelweed ربما تذبل بعد دقائق من قطعها . أما نبات شرابة الراعى الامريكية (البهشيـة) American holly فلا تظهر عليه ، على العكس من ذلك ، أى علامات للذبول بعد وقت طـويـل مـن قطـع أوراقـه ، وذلـك بسبـب أن أوراقه تحتوى على نسبة كبيرة من النسيج الدعامى.

ويقسم ذبول النباتات فى حالة وجودها فى التربة الى ذبول مؤقت temporary welt وذبول دائم permanent welt. يحدث الذبول المؤقت مع وجود الماء فى التربة بسبب ارتفاع مؤقت لمعدل النتح عن معدل الامتصاص. وتستعيد النباتات فى العادة نضارتها بعد ذبولها المؤقت فور انخفاض معدل النتح. إذ نجد الاوراق التى ذبلت نهارا تتغلب على هذه الحالة اثناء الليل فتستقيم وتتمدد بالكامل فى الصباح الباكر (شكل 8ـ4) . كما وان الاوراق ربما تستعيد انتفاخها اثناء النهار اذا انخفض معدل النتح من جراء ظهور السحب او بسبب انخفاض درجة الحرارة أو لهطول مطر خفيف، علما بأن الماء لم ينفذ الى الجذور.

اما الذبول الدائم فهو على العكس من ذلك ناتج عن نقص خطير فى المحتوى المائى للتربة. إذ نجد أن الجذور لم تعد تستطيع امتصاص الماء . ويموت النبات فى الغالب الا اذا جرى تعويض المحتوى المائى للتربة. (انظر فصل ـ 9).

يؤدى تكرار ذبول المؤقت الى حدوث تأثير ظاهر على التحول الغذائى فى النبات. فنجد النباتات التى عانت من تكرار الذبول تتحول الى نباتات قزمية dwarf. ومن الاسباب الهامة لحدوث ذلـك أن نقـص الماء يؤدى الى نقصان نمو الانسجة الفتية مايؤثر بالتبعية على انقسام الخلايا ونموها بنوع خاص. ويؤدى تدهور النمو هذا إلى نقصان كمية



شكل (8 ـ 4) الذبول المؤقت فى أوراق نبات القرع Squash (Cucurbita maxima)
(اليسار) فى نهاية يوم حار (اليمين) فى الصباح الباكر فى اليوم التالى امتصت النباتات الماء وانتعشت خلال الليل .

الغذاء المخصص للأنسجة النامية، ويصحب الجفاف فى الغالب تراكم الكربوهيدرات وربما يؤدى ارتفاع محتوى الكربوهيدرات المستمر الى تحورات تركيبية فسيولوجية دائمة تلازم عملية توقف النمو.

ومن خلال هذه العملية التى أشرنا اليها يمكن تفسير الذبول على المحاصيل. فهناك العديد من المناطق فى العالم، يوجد بعضها فى امريكا، حيث تكون كمية الامطار كافية بالكاد ـ او قد لاتكفى ـ لنمو المحاصيل، وهناك نجد الذبول آفة مستمرة. إن توقف النمو الناتج عن نقص كمية الماء يؤثر فى كل اجزاء النبات، إذ يتعطل نمو النبات ارتفاعا وقطرا، كما تذبل الاوراق الاقدم وتموت ويقل مردود النبات من الفاكهة او البذور بشكل ملحوظ بل وربما تموت النباتات قبل اخصابها أصلا. ولم يكن عرضا تلازم كل من الجفاف والمجاعة عبر القرون.

مظاهر النتح: Significance of Transpiration

على الرغم من الدراسات الكثيرة التى تناولت عملية النتح تفصيلا، لاتزال هناك وجهات نظر متضاربة حول مظاهره فى النبات وتأثيراته. فحيث أن التبخر يستخدم الطاقة الحرارية ممايؤدى الى الاعتقاد احيانا بأن للتبريد تأثيراً على خفض درجة حرارة الورقة بما يكفى لحمايتها من أضرار الجو الحار مما يمنع موتها. ومع ذلك يؤدى انخفاض درجة حرارة الورقة بمعدل 3ـ5 درجات مئوية الى حدوث تأثير كبير على معدل النتح. علما بأن انخفاض درجة الحرارة هذا ليس له تأثير ملموس على حياة النبات. ولكن اذا لم تتسرب الطاقة الاشعاعية التى امتصها النبات، فان درجة حرارة الورقة ستزداد بسرعة كبيرة قد تؤدى الى موتها. ولقد أجرى فى الواقع حساب حرارى مفاده أن الورقة المعرضة لأشعة الشمس المباشرة ترتفع درجة حرارتها بمعدل 30 درجة فى الدقيقة او اكثر اذا لم يكن هناك آلية تبريد معينة. واذا ما بدأنا الحساب فى درجة حرارة الغرفة (20مْ) (28ف) فقد تصل درجة حرارة الورقة الى نقطة غليان الماء بناء على ذلك، خلال ما لايقل عن ثلاث دقائق. ويمنع حدوث ارتفاع درجة الحرارة هذا أساسا بالاشعاع* وتبريد الهواء وليس بالنتح. ومعظم الاوراق رقيقة اقل من البوصة (1/4 ملليمتر)؛ لذا

*** تعتبر أشعة الشمس اصدق مثال للإشعاع. إذ تتحرك الطاقة الضوئية من الشمس الى الارض ـ بسرعة تقدر 186,000 ميل /الثانية. وتعكس مختلف الاجسام ومنها الاوراق الطاقة بالاشعاع المماثل بموجات طويلة (تحت الحمراء) وهذه الطاقة المعكوسة بالاشعاع ذات أهمية أقل على النبات من التبريد بالهواء.**

سرعان ماتتسرب الطاقة الحرارية الممتصة فيها الهواء بالتوصيل. وتحمل التيارات الهوائية من ثم الهواء المسخن بعيدا عن الورقة . وبناء على ذلك فذبول الاوراق وموتها فى فترات الجفاف ناتج فى العادة من افتقار النبات للماء اكثر من تأثير ارتفاع درجة حرارته.

ويمكن التأكيد على حقيقة عدم أهمية التأثير الملطف للنتح اذا ما قسنا درجة حرارة ورقة ميتة تحت اشعة الشمس فمثل هذه الورقة لاتنتح ولكنها مع ذلك تمتص الطاقة، وبسبب قلة نسبة الماء فيها وقلة وزنها ايضا ترتفع درجة حرارتها بمعدل يصل الى ضعفى او ثلاثة اضعاف درجة حرارة الورقة الحية. وكان من المتوقع ان تشتعل ورقة ميتة كهذه خلال دقائق معدودات اذا لم يكن تأثير الاشعاع والتبريد بالهواء.

ويفترض فى بعض الاحيان ان النتح ضرورى لحركة الماء فى النبات، اذ يميل استهلاك الماء فى عملية البناء الضوئى والنمو الى خلق نقص فى المحتوى الماء لخلايا الورقة، مما يؤدى بدوره الى ان يتحرك الماء الى الاعلى عبر الساق. وربما يكون نقص الماء نتيجة للنتح اكثر ممايسببه النمو والبناء الضوئى . وينتج عن ذلك زيادة فى حركة الماء الى الاعلى اذا توفرت الرطوبة فى التربة، ولكن زيادة الحركة هذه لاتعود بفائدة ما على النبات.

ويعتقد ايضا أن النتح مهم لعملية امتصاص الاملاح وهى النترات والفوسفات وغيرهما من المواد غير العضوية اللازمة للنمو. ومن هنا يكون منطقيا انه كلما زاد معدل النتح يزيد معه امتصاص الاملاح الذائبة. ولكن حركة الاملاح فى التربة وخصوصا امتصاصها عبر اغشية خلايا الجذر لاتعتمد على امتصاص الماء. اذ ربما تتحرك الاملاح الذائبة إلى الجذر بسرعة اكبر او اقل من سرعة امتصاص الماء اعتمادا على عوامل عدة فى كل من الجذر والتربة. فلاتتسبب حركة السريان الصاعدة فى النبات فى دفع الاملاح الذائبة فى التربة الى داخل الجذر مع الماء الممتص.

وفى الظروف التجريبية لفترات قصيرة يشاهد احيانا ان النبات يمتص كميات اكبر من الاملاح اذا ما كان معدل النتح عاليا. ولكن كمية الاملاح الذائبة لاتتناسب مع كمية الماء المفقود بالنتح، ولايمكن بناء على ذلك ايجاد علاقة ثابتة تربط بين معدل النتح ومعدل امتصاص الاملاح. وعلى وجه العموم يتناسب امتصاص الاملاح مع احتياج النمو اليها وليس مع معدل الامتصاص . ويمكن تصوير هذه العلاقة بتجربة تجرى على مجموعة من النباتات التى تنتج 1904 لتر من الماء خلال فترة النمو، كان محتواها من الاملاح 14٪ ووجد فى مجموعة إخرى ابقيت فى جو رطب انها قد نتجت 4.7 لترا فقط، الا أن نسبة الاملاح فيها كانت 14.7٪.

وحيث إن الاملاح ربما تتحرك فى بعض الاحيان الى أوراق النبات عبر مجرى النتح، اى بمعنى أنها تتحرك مع الماء المنقول من خلال الخشب، يفترض احيانا أن هذا المجرى ضرورى لتحرك الاملاح. واذا ماعرفنا ان النباتات تمتص فى المعتاد طنين او ثلاثة من الماء لكل رطل من أملاح التربة فربما يكفى جزء ضئيل من كمية الماء هذه بما يوازى حوالى 2٪ لحركة الاملاح، هذا اذا ما افترضنا جدلا ان كل الاملاح تحمل عبر مجرى النتح. وكما استعرضنا فى فصل ـ 7 فهناك شواهد قوية على احتمال انتقال الاملاح فى اللحاء ايضا، ولايعتمد هذا الانتقال على النتح اطلاقا. وبناء على ذلك يكون من المشكوك فيه احتمال معاناة النبات من نقص الاملاح اذا لم يحدث نتح على الاطلاق.

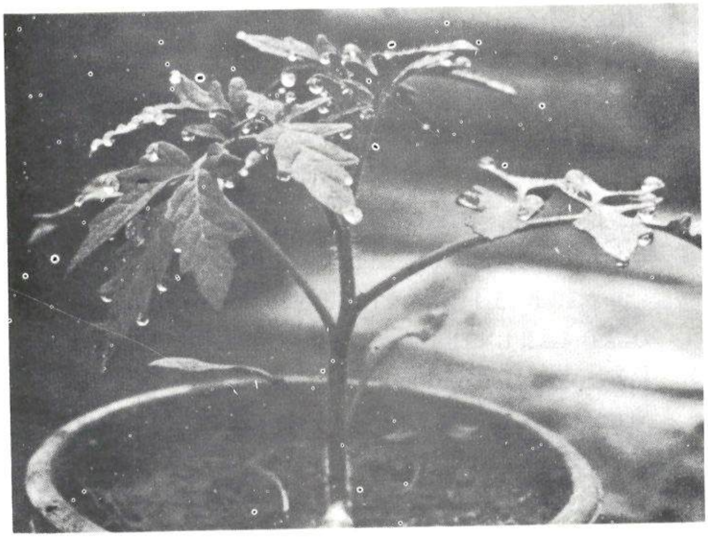
وبناء على ماتقدم ذكره يوضع النتح تحت الاستفهام من حيث قيمته بشكل او بآخر. فالنتح الزائد ربما يعطل نمو النبات بل ويتسبب فى موته. وعلى وجه العموم يمكن اعتبار النتح حلا وسطا، اذ يلزم النبات انفتاح ثغوره فى سبيل الاسراع بامتصاص ثانى اوكسيد الكربون اثناء البناء الضوئى. فمنظومة نسيج الادمة Cuticle والثغور الصغيرة التى تغطى الاوراق والسيقان الغضة تعيق فى مجموعها فقد الماء ، بينما تسمح بامتصاص ثانى اوكسيد الكربون امتصاصا يصل الى حده الاقصى. ومن هنا فمع انفتاح الثغور وتواجد بخار الماء فى الورقة بتركيز اكبر مما هو عليه فى الهواء يحدث فقد الماء لامحالة ممايجعل هذا الفقد مكمنا للخطر يهدد النبات دوما.

التدمع او الادماع: Guttation

الشكل الغالب لفقد النبات للماء هو بخار الماء. ولكن بعضه يكون بصورة سائلة وتسمى هذه العملية بالتدمع. اذ يظهر الماء على اطراف واسطح الاوراق فى شكل نقطة صافية تشاهد فى الصباح الباكر أساسا. وبارتفاع درجة الحرارة مع ظهور الشمس يتبخر ماء التدمع او تعيد الورقة امتصاصه. ويحدث التدمع فى الغالب عندما يكون امتصاص الماء بواسطة جذور النبات سريعا نسبيا ولاتكون الظروف المحيطة مواتية لحدوث ارتفاع فى معدل النتح. وعملية التدمع هى نتيجة للامتصاص الفعال للماء عن طريق الجذور ممايزيد من ضغط الجذر root pressure(نتحدث عنه فيما بعد)

ويحدث التدمع فى الكثير من النباتات من بينها ابو خنجر nastutrium والبطاطس والكرنب cabbage والطماطم (شكل : 8ـ5) والفراولة (الشليك) والنجيليات وربما يكون بمعدل كبير فى بعض النباتات الاستوائية. فنجد ان الورقة الواحدة من نبات اذن الفيل elephant's ear (Colocasia) تفقد مايوازى نصف كوب من الماء بواسطة التدمع فى ليلة واحدة. ويخرج الماء فى العادة من خلال ثغور متخصصة تسمى بثغور الماء Water stomata توجد بالقرب من نهايات العروق الرئيسية للورقة. وتختلف ثغور الماء عن باقى الثغور فى كونها تبقى مفتوحة ليلا ونهارا اثناء عمر الورقة.

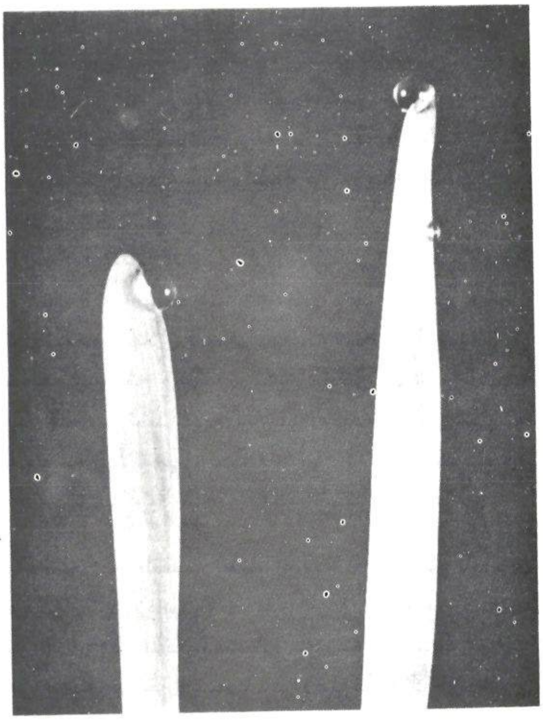
وفى أواخر الربيع وأوائل الصيف يكون ماء التدمع ملحوظا بشكل خاص فوق نجيل الحدائق، الذى يظهر فى الصباح الباكر على صورة قطرة كبيرة من الماء فى طرف كل نصل. ويمكن مشاهدة التدمع فى المختبر بواسطة تغطية أصيص فيه بادرات لنبات الذرة، المزود بالماء (شكل 8ـ6)، بناقوس زجاجى.



شكل (8 ـ 5) ظاهرة التدمع فى أوراق نبات الطماطم
Tomato (Lycopersicum esculentum)

ويجب التمييز بين ماء التدمع وماء الندى dew، فبعد يوم دافىء وعندما تكون السماء صافية ، تكون درجة حرارة الاسطح المكشوفة لغالبية الاجسام ومنها الاوراق والتربة والصخور أبرد من الهواء المحيط نتيجة للاشعاع. كما ويبرد الهواء الملاصق للاسطح الباردة هذه ممايترتب عليه تكثف رطوبة الهواء فى صورة ندى، تماما مثل تكثف رطوبة الهواء على سطح كوب زجاجى به ماء بارد. والرطوبة المتكثفة هذه تختلف عن التدمع من حيث موضعها وشكلها. فالندى يتكون بصورة طبقة رقيقة من الماء، او بتجمع من قطرات تغطى كامل سطح الورقة، بينما التدمع يتجمع ماؤه عند اطراف الاوراق فحسب.

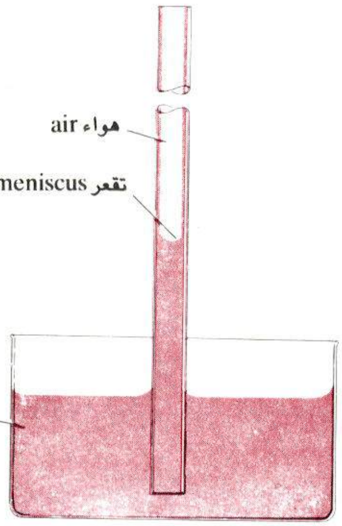
شكل (8 ـ 6) التدمع فى أوراق نبات الشعير
Barley (Hordeum vulgare)



توصيل الماء : The Conduction of Water

لايوجد موضوع من الموضوعات المتعلقة بالنبات يساء فهمه اكثر من حركة الماء والعصارات الى الاعلى. ومن الاقوال المشهورة عند العامة «ترتفع العصارات فى الربيع» وربما يكون هذا الاعتقاد من ملاحظة ان بعض الاشجار اذا ماقطعت او جرحت فى الربيع يسيل منها الماء سواء أكان

مكان القطع ساقا ام غصنا. فمن السهل دحض الاعتقاد بارتفاع العصارات فى الربيع فقط. وذلك بالتأكد من وجود الماء فى النبات فى الشتاء ايضا بل وعلى مدار السنة كلها.



شكل (8 ـ 7) ارتفاع الماء فى أنبوبة شعرية

وقد أثار البحث عن اسباب صعود الماء فى النبات العديد من التكهنات منذ القدم. ومن أقدم هذه التكهنات مااقترحه جرو Nehemiah Grew 1682، تفسيرا لهذه الظاهرة التى يرجعها الى عملية الضخ التى تقوم بها الخلايا الحية المحيطة بالانسجة الموصلة Conducting tissues ولايستقيم هذا التفسير مع حقيقة ارتفاع الماء عبر أجزاء طويلة من سيقان الاشجار بعد أن قتلتها الحرارة والسموم. وتشير هذه الحقيقة الى آليات اخرى تعمل على تحقيق توصيل الماء. وسوف نتعرض بالشرح الموجز لآليتين من هذه الآليات.

(1) ربما يكون صعود السوائل بالخاصية الشعرية تحت ضغط، هو التفسير الاكثر شيوعا عند العامة فاذا ماوضعنا انبوبة شعرية زجاجية فى ماء لاحظنا صعود السائل فى الانبوبة بالخاصية الشعرية. فسطح الماء الذى يملأ جزءا من الانبوبة الشعرية يكون مقعرا ويسمى بالسطح الهلالى Meniscus(شكل 8ـ7) ولهذا السبب تكتسى جوانب الانبوبة فوق السطح الهلالى بطبقة رقيقة من الماء، وحيث ان الماء الموجود فى منطقة السطح الهلالى يمتد دونما انقطاع لكى يكون الطبقة التى تكسو جدران الانبوبة اعلى من السطح الهلالى تصبح الساحة الكلية للسطح الهلالى أكبر بكثير مما يظهر فى العين المجردة. ويتأثر هذا السطح بالقوى التى تسبب انكماش السطح الهلالى لأصغر مساحة ممكنة، أى بما يميل لأن يحوله إلى سطح مستو. وتكون نتيجة انكماش السطح الهلالى قوة جاذبة تشد عمود الماء فوق سطح السائل متناسبا عكسيا مع قطر الانبوب، علما بأن هذا الارتفاع قد يتجاوز عدة أقدام فى انبوبة شعرية بالغة الدقة.

وبناء على هذا التفسير تصبح الخلايا الموصلة للماء فى شجرة مثلها مثل الأنابيب الشعرية، وعلى الرغم من صغرها لا تعتبر أقطار هذه الخلايا صغيرة بالدرجة الكافية لرفع الماء أعلى من مسافة صغيرة نسبيا. والأهم من ذلك أن القوى المسببة لرفع السوائل بالخاصية الشعرية لا تتكون إلا فى الانابيب المفتوحة من الطرفين على ان يكون سطح الماء مفتوحا على الهواء. اما الخلايا الموصلة للماء داخل الساق فهى على العكس من ذلك تكون مملوءة بالماء فى العادة وتنتهى بتلامسها مع الخلايا الحية فى الورقة وليست مفتوحة على الهواء. ومن هنا يكون الرفع بالخاصية الشعرية مستحيلا.

(2) اذا ما قطعنا قمم بعض النباتات لوجدناها تنزف ماء bleed من حيث قطعت (شكل 8ـ8). ويمكن ملاحظة ظاهرة النزيف هذه بجلاء فى شجرة العنب grapevine وغيرها من العديد من الاشجار مثل البتولا birch وصندوق البيلسان boxelder والجميز sycamore والجوز الارمد butter nut، إذا ما قطعت فى الربيع. وتحدث ظاهرة النزيف أساسا وعلى أقل تقدير نتيجة القوى الازموزية osmotic forces المتكونة فى الجذور. وربما تكون القوى الازموزية وغيرها هى التى تكّون مجتمعة الضغط الجذرى pressure root، وهو المسئول عن ظاهرتى النزيف والتدمع.

ولقد اعتبر الضغط الجذرى كعامل هام بسبب صعود الماء، إلا أن العديد من الظروف تدحض هذه النظرية. إذ لا توجد ظاهرة النزيف فى النباتات جميعها عندما تقطع قممها.

أضف إلى ذلك أن مقدار النزيف يكون مهملا فى الصيف أو قد لا يحدث أصلا ، هذا علما بأن معدل النتح يكون أعلى ما يكون فى الصيف . وإذا ما تمكنا من توصيل مانومتر manometer وهو جهاز لقياس الضغط ، بالجزء المقطوع من النبات ، لوجدنا قراءاته منخفضة بما لا يتعدى عددا قليلا من الارطال على البوصة المربعة * . ولا يعتبر هذا الضغط كبيرا بالدرجة التى تكفى لرفع الماء الى قمة شجرة عالية . وربما تظهر فائدة الضغط الجذرى أحيانا بصوردة طرد الهواء من الاوعية وكذلك استعادة استمرارية أعمدة الماء التى انقطعت ، ولكنه من المؤكد يعتبر عديم الفائدة بالنسبة لرفع كميات الماء داخل النباتات الناتجة .

نظرية التماسك : The Cohesion Theory

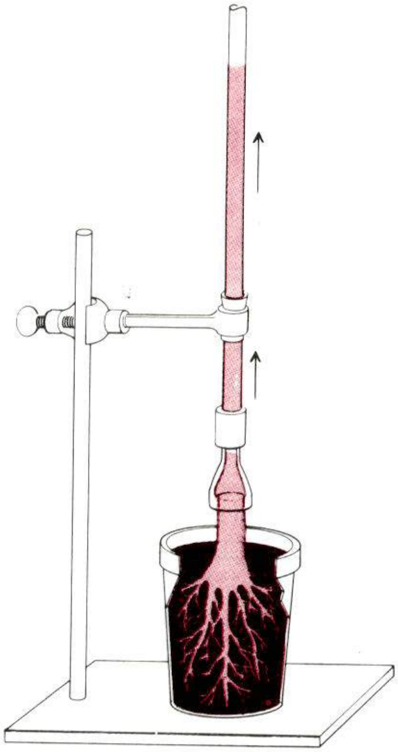
تعتبر النظرية المسماة بنظرية التماسك الاكثر تطابقا من الواقع فى تفسير رفع الماء فى النباتات . وتقوم هذه النظرية على أساس حقيقة ان الماء على الرغم من سهولة تغيره فى الشكل . يقاوم بشدة تغيرات الحجم تحت تاثير القوى الميكانيكية سواء أكانت شداً أم ضغطا . وبسبب مقاومة الماء للتغير فى الحجم يمكن أن يتعرض لقوة شد كبيرة إذا ما وضع فى انبوبة زجاجية نظيفة حيث يلتصق الماء بكل سطحها . والماء الموجود فى انبوبة مغلقة مثل الوعاء الخشبى فى النبات يتصرف كما لو كان سلكا معدنيا لذا يمكن جذبه بمعنى الكلمة كما يجذب السلك . وتعتمد قوة الجذب هذه على عاملين :

(1) تماسك جزيئات الماء فيما بينها بفعل قوة الجذب الموجودة بين الجزيئات

(2) التصاق هذه الجزيئات بجدران الوعاء ، الأمر الذى يمكن تكوّن فقاعات بخار الماء وقطع عموده .

ومن الأجزاء الأساسية لنظرية التماسك هذه حقيقة أن الماء ينجذب إلى أعلى بفعل القوى المؤثرة فى الأوراق . فخلايا النسيج الوسطى فى الورقة تحتوى على السكر وغيره من المواد الذائبة فى عصارات الخلية تلك التى يقل تركيزها باختلاطها بالماء . ويتبخر الماء من أسطح هذه الخلايا اثناء عملية النتح بحيث لا يتراكم الضغط الانتفاخى ويغير نسبة التركيز هذه . وبناء على ذلك تتكون فى الخلايا قوة كبيرة

* تستطيع قوة تساوى 14.7 رطل لكل بوصة مربعة (1 كيلوغرام/سم^2 (اى ما يعادل الضغط الجوى عند سطح البحر) حمل عمود من الماء طوله 34 قدما اى عشرة أمتار .



شكل (8 ـ 8) تجربة استعراض الضغط الجذرى Root Pressure وصلت أنبوبة زجاجية طويلة بجذر لنبات تم قطع حديثا . ارتفع الماء من بقايا الساق ارتفاعا ملموسا فى الأنبوبة .

ماصة للماء . ومن هنا يتحرك الماء من الخلايا الخشبية لعروق الورقة التى نسيجها الوسطى . أما الاوعية الخشبية فتكون مغلقة النهايات بواسطة خلايا حية سواء فى الجذر أم فى الأوراق كما تكون الأوعية الخشبية مدعمة بدعامات خشبية تمنعها من فقد حجمها (شكل 7ـ9) ، كما يلتصق الماء بشدة بجدران الاوعية المبتلة . ويترتب على ذلك أن يسبب فقدان الماء من هذه المنظومة المتينة المغلقة تكوين قوة شادة تؤثر على الماء داخل الاوعية . واذا ما كانت قوى الالتصاق مناسبة ، يمكن انتقال القوى الشادة عبر الاغصان فالفروع فالجذع إلى أسفل حتى الجذور فى التربة . وبناء عليه يمكن رفع الماء فى الوعاء بواسطة قوى امتصاص الماء المتكونة فى خلايا الورقة .

ربما ينشأ الاعتقاد بان نظرية التماسك قد قدمت أنجح محاولة لتفسير صعود الماء داخل النباتات الطويلة وبأن

المشكلة قد حلت تماما بهذه النظرية . غير أن هذا غير صحيح مع الأسف فبالرغم من عدم وجود صعوبات بالنسبة لقدرة خلايا الورقة على امتصاص الماء ، فلقد اثبتت كل القياسات أن هذه القدرة تكفى لرفع الماء إلى قمم أعلى الاشجار ، إلا أن هذه القيم من التماسك سواء أكانت حقيقية أو كامنة والموجودة فى سيقان النباتات لاتزال موضعا للجدل . إذ يعتبر بعض علماء النبات أن قيم التماسك والتى هى 300 ضغط جوى وأكثر قد أمكن قياسها عمليا ، إلا أن هذه المقادير قد قيست وحسبت بطرق قياس وحساب خاطئة .

ان الطريقة الأكثر شيوعا فى قياس التماسك تقوم على أساس كمية من الماء موضوعة فى انبوبة زجاجية محكمة ومخلخل هواؤها بدرجة أو أخرى . ولا تكون الانبوبة ممتلئة تماما بالماء ، لذا يعلو سطحه ضغط أقل من الضغط الجوى . ويجب أن تكون الأنبوبة نظيفة كيميائيا ، وأن يغلى الماء قبل وضعه فيها وذلك لطرد الهواء المذاب . واذا ما سخنت هذه الانبوبة ببطء وبعناية فى حمام مائى يتمدد الماء بحيث يملأ الانبوبة . واذا ما برد حمام الماء ببطء مع تحريكه باستمرار لا يحدث شىء جديد خلال فترة معينة من الوقت . وبعد ذلك تبدأ فقاعة مخلخلة فى التكون مرة اخرى محدثة صوتا منخفضا مميزا ، مما يشير الى ان الماء الموجود فى الانبوبة المبردة قد منع من الانكماش لفترة ما بواسطة قوة التماسك . ويستخدم الفرق بين درجة الحرارة التى تختفى عندها فقاعة الهواء وتلك التى تعود عندها للظهور فى حساب قوة الشد الناتجة عن الالتصاق . ومع تكرار عملية القياس والحساب نتحصل على مقدار الشد ونجد أنه يتراوح بين 25 ـ 32 ضغط جوى .

وقد أجريت تجارب أخرى بطرق متعددة لقياس الشد الناتج من الالتصاق . وتحصل بالحساب على مقادير تعادل 30 ضغط جوى بدلا من 300 ضغط جوى نتيجة لتأثير الأشعة الكونية cosmic rays وهى اشعاعات قوية باطوال موجات قصيرة للغاية تصل الى الارض من الفضاء الخارجى . وقوة هذه الاشعاعات كبيرة بدرجة تمكنها من اختراق لوح من الرصاص سمكه عدة بوصات ، أما بالنسبة للخشب والصخور فيصل هذا السمك الى عدة أقدام . وعندما تهبط هذه الاشعة على الماء ، ومنه الماء الموجود فى الاوعية الخشبية للنبات ، تتكون فقاعات من السائل متناهية الصغير (اقل من أن ترى تحت المجهر العادى) . وفى الظروف العادية يعمل الشد السطحى (التوتر السطحى) surface tension لاسطح الماء المحيطة بالفقاعة على جذب الماء بسرعة ليملأ الفراغ . إلا أن التجارب التى اجريت على الانبوبة المحكمة توصلنا الى نتيجة مفادها أن الفقاعات لا تنغلق ويبق عمود الماء مقطوعا اذا كان مقدار الشد حوالى 32 ضغط جوى .

ولقد اعطيت التجارب من خمسة مختبرات على الاقل نتائج متطابقة . كما وأن طريقتين أو ثلاث طرق أعطيت قيما عددية تتراوح بين 25 ـ 32 ضغط جوى . ومن هنا نستخلص أن 30 ضغط جوى هو الحد التقريبى لمقدار الشد فى الاشجار الطويلة ، التى تكون فيها أعمدة الماء معرضة بكاملها وعلى مدار السنة للاشعة الكونية . ومع ذلك فلقد ثبت أن عند عدم وجود الاشعة الكونية ، مثلما هى الحال فى منجم عميق ، يمكن الحصول على مقادير من الشد الناتج عن التماسك تقدر بمئات الضغوط الجوية . ولكن علينا أن نعلم انه حتى قيمة 30 ضغط جوى تكفى لرفع الماء بمقدار 1000 قدم . وحيث أن أطول الأشجار لا يتجاوز 400 قدم فإننا نجد أن قوة الشد الناتجة عن التماسك تكفى وتزيد .

وفى ظل الظروف المختبرية تؤدى الهزات الطفيفة الى انقطاع عمود الماء الناتج من قوة الشد . على العكس من ذلك تتمتع أعمدة الماء الموجودة فى الشجرة بمرونة ظاهرة ، إذ تستطيع التكيف مع الظروف الصعبة للغاية ، ومنها الحركة السريعة لافرع الشجرة تحت وطأة الرياح العاتية . غير أن نظرية التماسك تواجه المزيد من الاعتراضات . فعلى الرغم مما يبدو من أن التماسك عامل فعال فى رفع الماء داخل النباتات ، بل ربما هو العامل الاهم ، لا يزال هناك الكثير مما يستوجب الشرح والتعليل حول تحرك الماء فى سيقان الاشجار .

حركة الماء فى النبات Movement of Water into the Plant

يدخل الماء الى النبات خلال شعيرات الجذر ، وهى نموات من خلايا البشرة تشابه الشعر ، ومن خلال خلايا بشرة الجذور الحديثة (شكل 8 ـ 2) . ويعتقد أن الماء يمتص بواسطة آليتين مختلفتين يمكن وضعهما تحت عنوانين : (1) الامتصاص الفعال (النشط) active absorption (2) الامتصاص غير الفعال (غير النشط) passive absorption ويتوجب التفريق بين الامتصاص الفعال للماء وبين النقل الفعال active transport للمواد المذابة عبر أغشية الخلايا cellular membranes .

يحدث الامتصاص الفعال عندما تكون رطوبة التربة عالية بينما ينتح النبات ببطء.وتحت هذه الظروف يعتبر امتصاص الماء امتصاصا ازموزيا فى طبيعته بالدرجة الاولى . وتعتمد حركة الماء الى الداخل على فرق التركيز بين محاليل الاوعية الخشبية ومحلول التربة . ويبدو احتمال أن ـ السكريات

وغيرها من المواد الذائبة تميل الى التسرب من الخلايا الحية للجذر الى الخلايا الخشبية الملاصقة . وربما يكون الانتقال الى الخلايا الخشبية نتيجة للضغط الانتفاخي العالي للخلايا الحية مما ينتج عنه أن تصبح خلاياها نفاذة Permeable بدرجة غير عادية . وعندما تصبح نسبة تركيز المحلول ومن ثم نسبة الماء داخل الخشب كبيرة بدرجة كافية ، ينتشر الماء من التربة الى الخشب ، عابرا من خلال خلايا القشرة المنتفخة ، التي تتصرف وكأنها غشاء مركب ذو نفاذية تفاضلية differentially permeable ، وانتشار الماء الى خلايا التوصيل في الجذر هو السبب في تكون الضغط الجذري والتدمع كما سبق وأن أشرنا آنفا . وتعرف هذه الحركة بالامتصاص الفعال ، لكونها تعتمد على محتوى المواد الذائبة وعلى نفاذية خلايا الجذر الحية . وإذا ما اضيف الملح العادي أو كمية زائدة من أسمدة قابلة للذوبان الى التربة يمكن ان تنعكس هذه الحركة في اتجاهها ممايؤدي أحيانا الى موتها بسبب افتقادها الى الماء (شكل 4 ـ10) .

عندما تنتح النباتات بسرعة يدخل الماء إليها عن طريق الامتصاص غير الفعال . يتوقف مفعول الامتصاص الفعال في هذه الظروف من جراء حركة الماء السريعة عبر الجذور مما يسبب كنس المحاليل داخل الخشب ، تلك المحاليل التي يعتمد عليها الامتصاص الفعال . ويرجع أيضا ان النتح السريع يتخلص من بعض الماء مما يقلل من الضغط الانتفاخي للخلايا الحية في الجذر ، مما يؤدي الى تقليل تسرب المحاليل . وفي ظروف النتح السريع يزيد احتمال فقدان الماء بسرعة اكبر من سرعة دخوله . وتصبح أعمدة الماء في خلايا التوصيل واقعة تحت قوة الشد . وينتقل هذا الشد الى الاسفل نحو الجذور .

إن التفسير الاسهل لحركة الماء داخل النبات في ظروف النتح السريع يقحم الفرق في الضغط داخل النبات وخارجه . فاذا ما سلط ضغط يساوي خمسة ضغوط جوية على الماء المحيط بالجذور . وفي نفس الوقت كان ضغط الماء داخل النبات مساويا لضغط جوي واحد لتحرك،الماء داخل النبات بفعل تأثير الضغط الخارجي على زيادة الضغط الانتشاري للماء . أما الضغط الموجود فعلا على التربة فيساوي واحد ضغط جوي فقط بينما ضغط الماء في الخشب ربما يقل عن الضغط الجوي الواحد ، بل ربما يصل الى ضغط سلبي يقدر بأضعاف الضغط الجوي ، وذلك بفعل قوة الالتصاق . والفرق في الضغط الانتشاري للماء داخل النبات والتربة يكون تأثيره مثل تأثير ضغط ميكانيكي موجب مسلط على رطوبة التربة .وتسمى الحركة في هذه الظروف بالامتصاص غير فعال ، ذلك لأن القوى المسببة له تنشأ عند قمة النبات وليس في جذوره ، كذلك بسبب أن هذه القوى يظهر مفعولها ـ ولو لوقت ما على أقل تقدير ـ حتى في الجذور الميتة . ويعتمد الامتصاص غير الفعال على قوة الشد الناتجة عن النتح . وتجدر الاشارة الى أن المقارنة الحجمية تثبت أن الامتصاص غير الفعال أهم بكثير من الإمتصاص الفعال بما يصل الى 98٪ من مجموع الماء المتحرك عبر الجذور .

الخلاصة Summary

1 ـ تعتمد كل عمليات النبات على الماء ويعتبر مدى تزود النبات بالماء هو العامل المحدد العام لنمو النبات .

2 ـ يفقد النبات حوالي 99٪ من الماء الذي يمتصه في عملية النتح الى الهواء، والجزء الأغلب من هذا الفقد يتم عبر الثغور .

3 ـ تنفتح الثغور وتنغلق اعتمادا على تغير الضغط الانتفاخي للخلايا الحارسة . وعلى وجه العموم تنفتح الثغور في الضوء وتنغلق في الظلام ، إلا أنها تنغلق أيضا عند ذبول الأوراق .

4 ـ يعتمد معدل النتح على الفرق بين معدل خروج جزيئات بخار الماء من الورقة ومعدل دخول جزيئات الماء الى الورقة من الهواء . ويتأثر هذا الفرق بدرجة حرارة الورقة ودرجة رطوبة الهواء ، وبالضوء والرياح ، وكذلك بمدى تزود النبات بالماء .

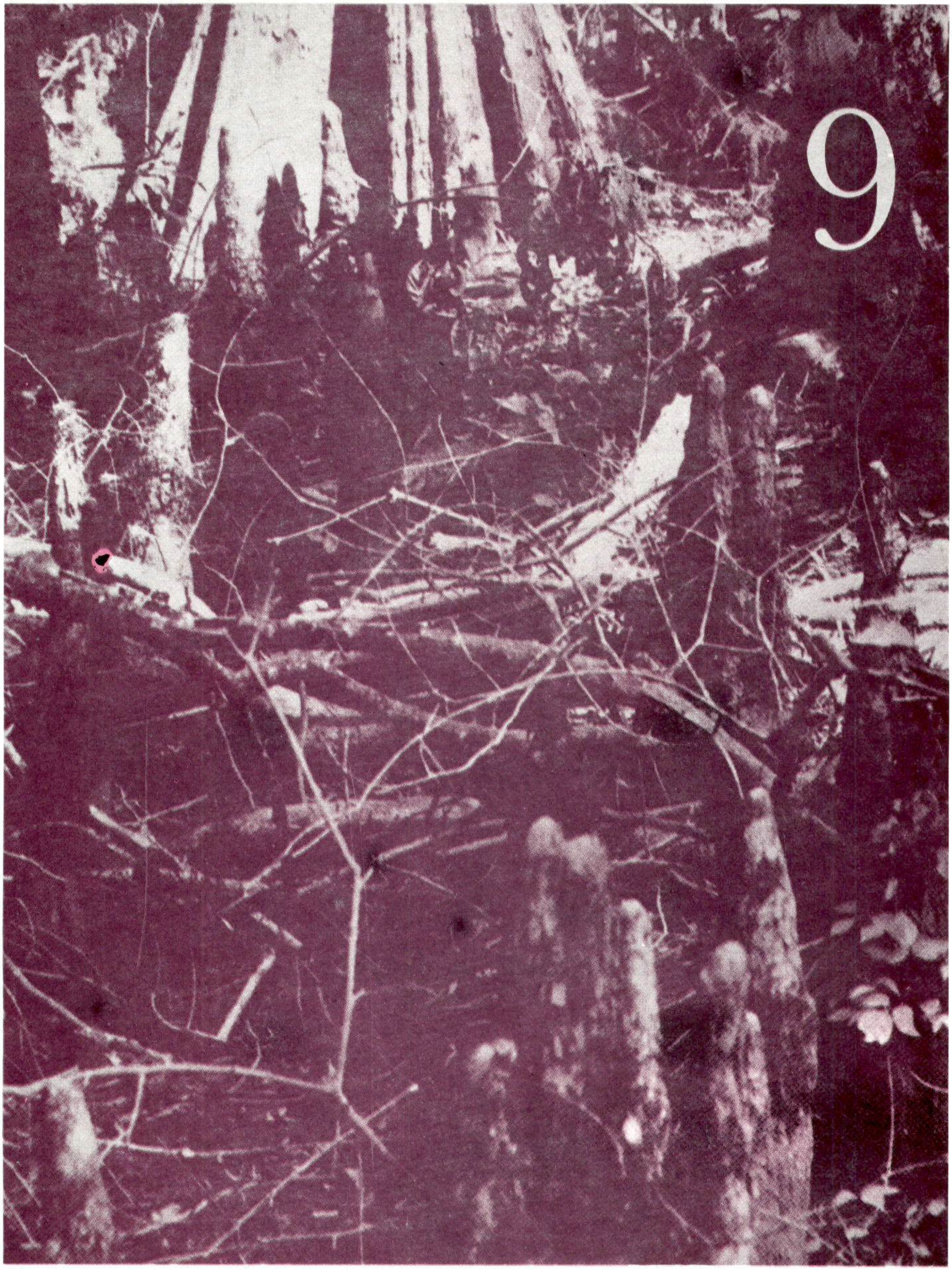
5 ـ تعتبر درجة حرارة الورقة العامل الأهم في عملية النتح في الأوراق الغضة وتعود هذه الأهمية الى الزيادة السريعة لميل الماء الى أن يتبخر مع زيادة درجة الحرارة .

6 ـ تعمل الرياح على زيادة معدل النتح ، سواء في الظل أم في الشمس ، وذلك بتأثيرها في كنس بخار الماء بفعل الهواء القريب من الورقة . ومع ذلك فتحت أشعة الشمس المباشرة عندما تكون درجة حرارة الورقة أعلى من درجة حرارة الهواء يصبح انخفاض درجة حرارة الهواء بفعل الرياح العامل الأهم من تأثير ازاحة بخار الماء ، وبذا تميل الرياح الى أن تقلل من معدل النتح .

7 ـ يؤثر الضوء على معدل النتح وذلك بتأثيره على انفتاح الثغور ، وأيضا بسبب أن أشعة الضوء الممتصة تزيد من درجة حرارة الورقة . وفي العادة تذبل النباتات أوحتى تموت بسبب فقدها للماء وليس بسبب ارتفاع درجة حرارتها .

8 ـ ينقسم الذبول الى نوعين مؤقت ودائم . ويسبب افتقاد النباتات الى الماء نقصان معدل نموها ونقصان محصولها .
9 ـ يعتبر النتح عملية قليلة الفائدة أو حتى عديمتها بالنسبة للنبات فلا هو يبرد الورقة بدرجة ما ، ولا هو ضرورى على الأرجح سواء لامتصاص الأملاح من التربة ثم نقلها لأجزاء النبات الأخرى .
10 ـ التدمع هو فقدان الماء السائل من الورقة . وسببه هو الضغط الجذرى الناتج عن القوة الازموزية الفاعلة فى الجذور . ويتوضح الضغط الجذرى فى خروج الماء من سيقان النباتات بعد قطع قممها .
11 ـ تعتبر نظرية التماسك أهم التفاسير المتاحة لحقيقة صعود الماء فى النباتات . وتسبب قدرة خلايا الورقة على امتصاص الماء فى تحرك الأخير داخل الخلايا عبر الخلايا الخشبية للورقة ويخلق هذا قوة شد تنتقل بدورها الى الجذور مسببة ارتفاع الماء بالشد الناتج عن النتح .
12 ـ يقاس ضغط تماسك الماء المعرض للاشعة الكونية ويقدر بـ 25 ـ 30 ضغط جوى ويكفى هذا الضغط للحيلولة دون انقطاع اعمدة الماء المعرضة للشد الناتج عن النتح .
13 ـ هناك آليتان لامتصاص الماء تعملان من خلال الجذور . ففى الامتصاص الفعال ينتشر الماء الى خشب الجذر بسبب تخفيف نسبة تركيز عصارات الخشب بالماء . أما الامتصاص غير الفعال فيحدث بفعل فرق الضغط . فقوة الشد الناتجة عن النتح والمؤثرة من خلال الالتصاق تقلل الضغط الانتشارى للماء فى الخشب الى أقل من ذلك الموجود فى التربة .

الجذور والتربة
The Root and the Coil


9

الجذور والتربة

The Root and the Coil

نحن نعتمد على النباتات لامدادنا بالطعام الذى نأكل وبالاكسجين الذى نتنفسه ، والنباتات بدورها تعتمد على التربة. فالتربة الجيدة تمد النباتات بالعناصر المعدنية اللازمة لها، وتعمل التربة على صيانة مايسقط عليها من امطار بالسماح لها بان تتسرب بسرعة خلالها، كما انها تحتفظ بكمية الماء التى ينتفع بها النبات داخل منطقة الجذر. ولاتعوق التربة نمو الجذور، اذ بدون هذا النمو لايتمكن النبات من استغلال مابالتربة من ماء واملاح معدنية.

و لاتعتبر التربة من المتطلبات الضرورية لنمو النبات، فكثير من نباتات الكرة الارضية تنمو طليقة او متشبثة بالصخور شكل (19 ـ 26) أو فى مياه المحيطات . وتنمو النباتات بوفرة ويغزر انتاجها اذا نمت فى محاليل مكونة من اسمدة معدنية فى غياب التربة (شكل 9 ـ 22) اما انتاج المحاصيل بطريقة عملية فيعتمد على التربة اذا مااستعمل الماء لريها (8 ـ 1) وتم تسميدها بوفرة (شكل 9 ـ 21).

وبالرغم من اهميتها الاساسية، الا أن التربة تعتبر من موارد الثروة التى اسأنا استعمالها واهملناها، ففى جميع انحاء العالم ادى تراكم الاملاح عليها وكذلك تآكلها بفعل الرياح والماء (شكل 10 ـ 8) الى تدمير مساحات شاسعة منها تقدر بمئات الملايين من الهكتارات، وقد امتد التدمير فشمل مناطق زراعية بالرغم من حاجتنا الماسة اليها.. وفى الولايات المتحدة يقوم المختصون الآن بتنفيذ مشروعات على نطاق واسع وذلك بهدف المحافظة على التربة (شكل 10 ـ 9) ومهما كانت شدة التلف الذى اصاب التربة كما فى شكل (10 ـ 8) فانه يمكن اصلاحها اذا ما ظلت مواردها الاساسية فى حالة طيبة ولم ينزع التآكل منها الشىء الكثير . فبعمليات التسوية والتسميد بوفرة وزراعة خليط من النجيليات والبقوليات يمكن اعادة مثل هذه المناطق الى خصوبتها التى كانت عليها.

وعن طريق الجذور يستغل النبات العناصر المعدنية الموجودة فى التربة. وتعتبر العلاقة بين التربة والجذر من العلاقات المعقدة التى لم تفهم على حقيقتها بعد، ويلزمنا معرفة الكثير عن الجذور وارتباطها بالتربة.

الجذر : The Root

امتداد الجذور Extent of Roots ان طبيعة المجموع الجذرى للنبات والعمق الذى يصل اليه فى امتداده، خلال التربة فى الاتجاهين العمودى والجانبى يتوقف على عدة عوامل مثل رطوبة التربة وتهويتها، وكذلك درجة حرارتها، وفى العادة ينتشر المجموع الجذرى للنباتات الخشبية مثل الاشجار فى الاتجاهات الجانبية، ولايتعمق بشدة فى التربة،

وغالبا مايوجد العدد الاكبر من الجذور فى الاربعة اقدام العليا من التربة. وقد يتراوح العمق الذى يصل اليه الجذر من 2 الى 30 قدما، وعادة مايزيد امتداد الجذور الجانبية للنبات عن امتداد اغصانه . ففى شجرة من اشجار الحور الرجراج aspen بلغ ارتفاعها 25 قدما؛ وجد ان طول احد جذورها الجانبية الاصلية يبلغ 47 قدما، وفى شجرة من اشجار البلوط بلغ ارتفاعها 37 قدما وجد ان طول الجذر الوتدى يبلغ 14 قدما، الا ان الجذور الجانبية قد امتدت من قاعدة الشجرة حتى بلغت 60 قدما، وفى شجرة من اشجار الدردار بلغ طولها 35 قدما وجد ان الجذور قد انتشرت فى الاتجاه القطرى حتى بلغت اكثر من 60 قدما. وتتفرع الجذور الجانبية فى كل من النباتات الخشبية والعشبية ثم يعاد تفرعها من جديد لتكون شبكة مذهلة. ولايمكن ادراك ذلك باقتلاع اى نبات من التربة. نظرا لان الجذور الدقيقة تظل عالقة بها. وفى مجال البحوث تغسل التربة جيدا من الجذور، وبذلك تظل متصلة ويظهر مدى امتدادها وانتشارها.

وقد اجرى ديتمار H . J Dittmer دراسة مستفيضة على الجذور الليفية لنبات الشيلم الشتوى، وهو من النباتات الهامة ويزرع كمحصول للحبوب وكعلف للماشية، ووجد ان نباتا واحدا منه ارتفاعه 20 بوصة ، ويحتوى على خصلة مكونة من 80 فرعا، به مجموع جذرى مذهل كالمبين فى الجدول (9 ـ 1).

الجدول (9 ـ 1).

المجموع الجذرى لنبات الجودار (الشيلم)
rye (Secale Cereale)

نوع الجذر	العدد	الطول الكلى قدم
جذور اصلية . main roots	143	214
فروع من الجذور الاصلية (ثانوية)	35,600	17,000
فروع من الجذور الثانوية (ثلاثية)	2,300,000	574,000
فروع من الجذور الثلاثية (رباعية)	11,500,000	1,450,000
العدد الكلى	14,000,000	2,000,000 او 380 ميلا

وبالرغم من ضخامة هذه الارقام الا انها ليست الا جزءا يسيرا من كثير ، فالمجموع الكلى لسطح هذه الجذور يبلغ اكثر من 2500 قدما مربعا، فى حين ان مساحة الفروع وعددها 80 فرعا بما تحمله من اوراق وعددها 480 ورقة، قد بلغت 51,4 قدما مربعا فقط وهذه الارقام لاتمثل الا المجموع الجذرى العرضى الذى ينمو من قواعد السيقان ويمتد فى جميع الاتجاهات وذلك خلال بضعة اسابيع فقط.

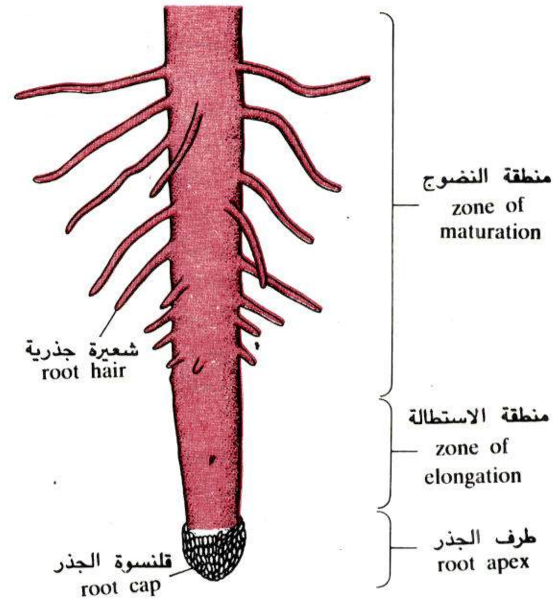
وظيفة الجذور : Function of the Roots

يقوم الجذر بعدة ادوار هامة فى حياة النبات وهذه الادوار هى: (1) تثبيت النبات فى التربة ، (2) امتصاص الماء والاملاح من التربة، (3) توصيل هذه المواد من منطقة الامتصاص الى قاعدة الساق، وكذلك (4) تخزين الغذاء . وفى بعض النباتات لايتم تخزين الغذاء الا فى الجذور ، اما فى النباتات الاخرى فينتقل جزء من هذا الغذاء، ويتم استغلاله فى الاجزاء التى فوق التربة مثل الفروع النامية للاعشاب المعمرة، وتركيب الجذر وكذلك طريقة نموه لها صلة وثيقة بالدور الذى يقوم به من اختراقه للتربة وامتصاصه للاملاح المعدنية والماء .

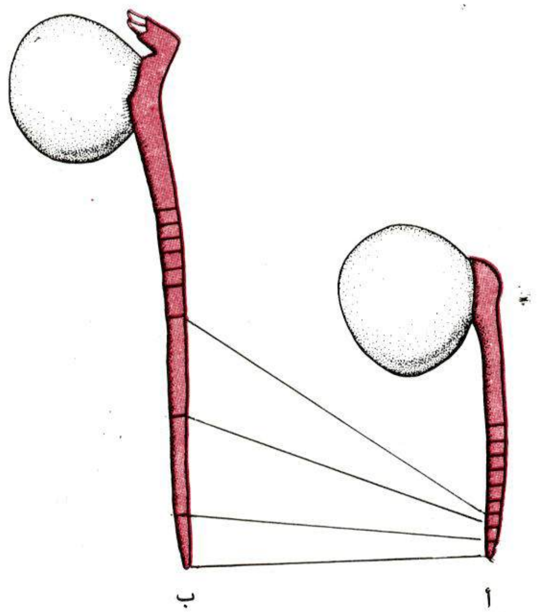
النمو الطرفى للجذور Terminal Growth of Roots

للجذور عموما قاعدة مناطق يمكن التعرف عليها فى الجزء الطرفى لجذر حديث (شكل 9 ـ 1) واولى هذه المناطق هى قمة الجذر Root Apex التى تغطى بقلنسوة الجذر Root Cap ويوجد خلفها منطقة الاستطالة Zone of Elongation ، التى تتراوح فى الطول من حوالى 1000 ميكرون (1 ملليمتر) فى نبات ذيل القط timothy (phleum pratense) الى حوالى 10 ملليمترات فى بعض انواع الذرة . وعلى ذلك فهذه المنطقة اقصر من المنطقة المقابلة لها فى الساق . ويلى ذلك المنطقة الناضجة Zone of Maturation . وفى هذه المنطقة توجد الشعيرات الجذرية . وسنشرح كلا من قلنسوة الجذر والشعيرات الجذرية فى الفقرات التالية .

منذ قرن من الزمان ابتدع العالم الالمانى النباتى يوليوس ساخس Julius Sachs طريقة لتعيين المنطقة التى يتم فيها اقصى استطالة فى الجزء الطرفى من الجذر فوضع على هذه المنطقة من بداية طرف الجذر علامات بالحبر الصينى تبعد عن بعضها بمقدار ملليمتر . وبعد بضع ساعات ادى نمو الجذر الى تباعد المسافة بين عدد من العلامات ، كما هو واضح فى شكل (9 ـ 2) كما يلاحظ فى شكل (9 ـ 2 ب) فان



شكل (9ـ1) مناطق النمو فى الجزء الطرفى للجذر.



شكل (9ـ2) منطقة الاستطالة فى جذر البازلاء pea (Pisum sativum)

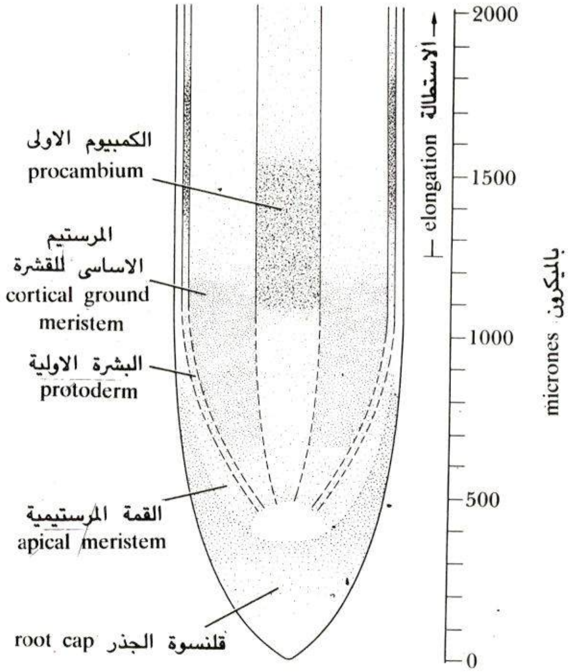
أ ـ علامات بالحبر يبعد كل منها بمليمتر واحد كل عن الآخر وقعت على الجذر النامى.

ب ـ توزيع العلامات بعد مضى عدة ساعات يوضح ان الجزء الاكبر من النمو قد وقع فيما كان سابقا الملليمتر الثانى والثالث.

اقصى نمو فى الفترة التى تعقب الترقيم قد حدث فى المليمترين الثانى والثالث من قمة الجذر كما استطال قليلا المليمتران الاول والرابع . ومن الملاحظات التالية على نفس الجذر يبدو واضحا توقف المليمتر الثالث الاصلى ومعظم المليمتر الثانى عن الاستطالة ثم يبدأ المليمتر الطرفى الاصلى فى الاستطالة ببطء ويحتل بدوره المنطقة التى يتم بها اقصى استطالة .

يبدو واضحا ان عمليات انقسام الخلية واستطالتها تتمركز قرب قمة الجذر ولا تحتل كما فى الساق مسافة كبيرة خلف هذه القمة . وهذا التمركز فى نمو الجذر فى موضع معين له مغزاه الواضح حيث يتلاءم تماما مع اكتناز التربة واختراق الجذر لها .

وقمة الجذر (المرستيم الطرفى apical meristem) كما فى قمة الساق ، هى المنطقة التى تبدأ فيها بصفة اساسية الانسجة فى الظهور كما يتم فيها تصميم وتنظيم ما ينشأ من هذه الانسجة خلف هذه القمة . ويشمل المرستيم الطرفى مجموعة من الخلايا غير النشطة نسبيا تحدها خلايا اكثر نشاطا ، ويؤدى انقسامها الى تكون المرستيمات الابتدائية primary meristems وهى : منشأ البشرة protoderm والنسيج الاساسى ground meristem وكذلك الكامبيوم الاولى procambium (شكل 9 ـ 3) وفى حين يتم الانقسام فى بعض خلايا منطقة المرستيم الطرفى الا ان السائد هو ان هذا الانقسام يحدث بمعدل اكبر فى الخلايا التى تقع خلف هذه المنطقة ، اى فى منطقة ما تحت القمة . ويختلف بعد الخلايا التى يتم فيها اقصى معدل للانقسام عن المرستيم الطرفى باختلاف انواع النباتات ، كما يختلف باختلاف عمر الجذر ، وكذلك باختلاف عدة عوامل اخرى . ففى بادرة احد اصناف الذرة الهجين يوجد اقصى معدل لانقسام الخلايا على بعد 1,25 ملليمترا خلف قمة الجذر (وتشمل هذه المسافة قلنسوة الجذر) ويتوقف انقسام الخلايا تماماً عند مسافة تبعد 2,5 سم من قمة الجذر . اما فى جذر البصل (شكل 9 ـ 3) فان معدل انقسام الخلايا التى تتميز الى قشرة يبلغ



شكل (9_3) توزيع انقسام الخلايا فى الملليمترين الاولين لطرف جذر البصل. onion (Allium cepa) عند الظهيرة. المساحة غير المظللة فى القمة المرستيمية لم يظهر بها انقسام، بيد انه ربما يحدث ذلك فى اوقات اخرى.

اقصاه على بعد حوالى 500 ميكرون (0,5 ملليمترا) خلف المرستيم الطرفى . اما الخلايا التى توجد فى وسط الجذر والتى تتميز فى النهاية الى نسيج وعائى ، فان معدل انقسامها يبلغ اقصاه على بعد حوالى 800 ميكرونا خلف القمة .

ويعتبر النمو الطرفى فى جذر البصل ، من وجوه كثيرة نموذجا لنمو الجذر بصفة عامة . فالمنطقة المرستيمية لا تشمل المرستيم الطرفى فقط بل تمتد اكثر من 1000 ميكرون خلفه الى ان تصل الى منطقة الاستطالة . وبالرغم من انه يمكن التعرف على المناطق التى يتم فيها اقصى معدل لانقسام الخلايا فى المنطقة المرستيمية ، الا ان هذه المنطقة لا تعتبر المنطقة الوحيدة التى تتم فيها عملية انقسام للخلايا . فعملية الانقسام يصحبها زيادة فى مساحات المقطع العرضى ، كما يصحبها عملية استطالة . وغالبا ما تستمر عملية انقسام الخلايا فى الاطوار الاولى من عملية الاستطالة عند قاعدة المرستيم . وعلى ذلك تتحول المنطقة المرستيمية بالتدريج الى منطقة استطالة فلا يحدث فى معظم خلاياها الا ان تستطيل فقط . ويلى منطقة الاستطالة منطقة النضج ، الا ان بعض انماط الخلايا كالخشب واللحاء يبدأ تمايزها او يستكمل فى منطقة الاستطالة ، وقد يتم هذا التمايز قرب المرستيم الطرفى . ففى نبات البصل مثلا تتكون اول خلايا اللحاء وتنضج نضجا فسيولوجيا على بعد 1100 ميكرونا خلف المرستيم الطرفى apical meristem حيث تظل عملية انقسام الخلايا قائمة . والمظهر الاساسى للصورة التى ينمو بها الجذر كما تم وصفها ، هو ان يمتد الجذر كما تمتد الساق وهذا الامتداد هو بالطبع نتيجة لاستطالة الخلايا .

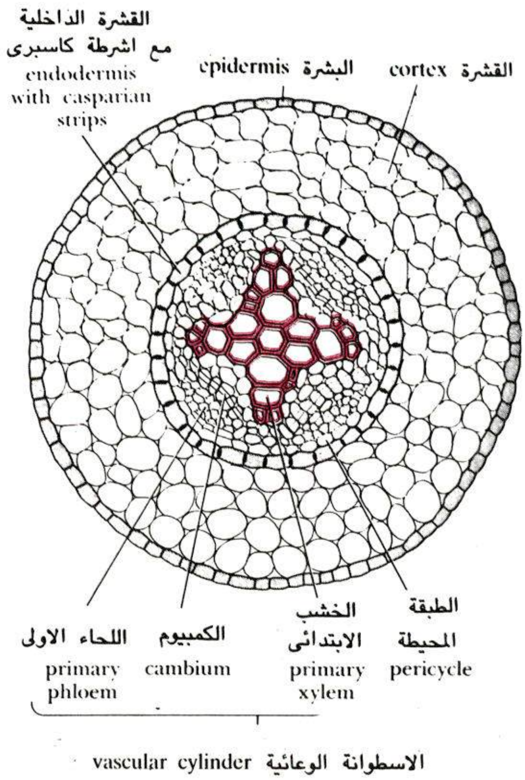
قلنسوة الجذر The Root Cap تغطى قمة الجذر بمجموعة من الخلايا التى على شكل قمع الخياطة او غطاء الرأس ، ولا توجد هذه المجموعة الا فى الجذر ، ويطلق عليها قلنسوة الجذر (شكل 9 ـ 1) وباندفاع قلنسوة الجذر الى الامام بين حبيبات التربة نتيجة لنمو منطقة الاستطالة ، تحمى هذه القلنسوة قمة الجذر من التمزق فلا تحتك بهذه الحبيبات احتكاكا آليا . وفى بعض الانواع توجد خلايا هذا النسيج فى حالة مفككة ، اما فى الانواع الاخرى فانها تكون اكثر التحاما ببعضها ، وتبلى هذه الخلايا باستمرار ، ونتيجة لتسلخ خلايا قلنسوة الجذر تتكون مادة مخاطية تغطى حبيبات التربة القريبة من قلنسوة الجذر ، وبذلك يسهل اختراق الجذر للتربة .

وتتجدد خلايا قلنسوة الجذر من الداخل وذلك بعدة طرق تختلف باختلاف الانواع ، ففى نبات الذرة مثلا تتكون القلنسوة من طبقة مرستيمية مستقلة تماما عن المرستيم الطرفى للجذر . وفى كثير من النباتات ذوات الفلقتين تنشأ كل من بشرة الجذر وقلنسوته من خلايا الطبقة الخارجية للمرستيم الطرفى .

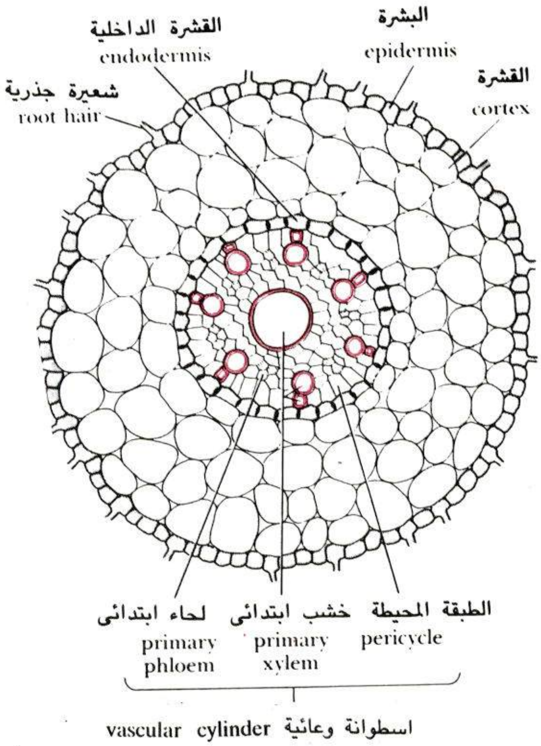
الانسجة الابتدائية Primary Tissues

تنضج معظم خلايا منطقة النضج نضجا فسيولوجيا او تقرب من هذه الحالة فتتغلظ جدر الخلايا، وتفقد بعض الخلايا مكوناتها من البروتوبلاست وتصبح غير حية. وفى هذه المنطقة وما خلفها يمكن التعرف على طرز من الخلايا على درجة عالية من التمايز، فتتميز عن غيرها سواء فى التركيب او الوظيفة.

وفى الجذر الحديث سواء فى القطاع العرضى او الطولى يمكن بوضوح تمييز ثلاث مناطق هى الاسطوانية الوعائية،



شكل (9ـ4) الانسجة الاولية فى قطاع عرضى لجذر فتى فى نباتٍ من ذوات الفلقتين. لاحظ الترتيب التبادلى لكل من الخشب الابتدائى واللحاء.



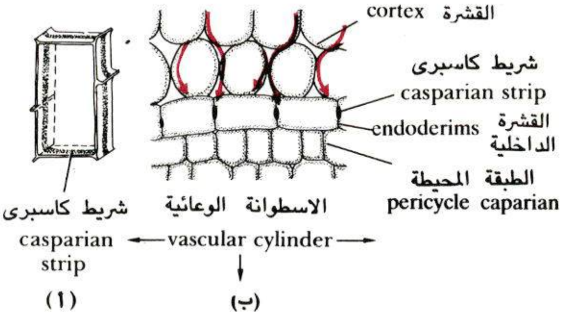
شكل (9ـ5) قطاع عرضى فى جذر فتى لنبات الشعير barley (Hordeum vulgare) من نباتات الفلقة الواحدة

والقشرة، وكذلك البشرة (شكل 9ـ4، 9ـ5) وفى مركز الجذر توجد الاسطوانة الوعائية التى تتكون من الانسجة الوعائية ومايصحبها من خلايا برنشيمية. وتقوم هذه الانسجة أساسا بنقل الغذاء والماء والاملاح المعدنية، وفى هذه الانسجة يوجد عدة طرز من الخلايا. واوضح هذه الخلايا هى خلايا الخشب المغلظة الجدر التى تنقل الماء والاملاح المعدنية ومن ابرزها ايضا اللحاء وينتقل خلاله الغذاء.

وفى القطاع العرضى ترتب خلايا الخشب بحيث تخرج من المركز على هيئة اذرع. وتوجد خلايا اللحاء فى مجاميع بين هذه الاذرع، وحيث إن كلا من مجاميع الخشب الابتدائى واللحاء الابتدائى ترتب على أنصاف اقطار مختلفة، فقد أطلق على هذا الترتيب اسم الترتيب المتبادل alternate arrangement وهذا الترتيب يقابله ترتيب آخر فى الساق الذى ينتظم فيه نسيجا الخشب واللحاء على نفس القطر بحيث يحتل اللحاء موقعا خارج الخشب. وعدد أذرع الخشب ثابت تقريبا فى كل نوع ويتراوح هذا العدد بصفة نمطية فى نباتات ذوات الفلقتين بين ذراعين وأربعة أذرع (شكل 9ـ4) ويزيد هذا العدد فى نباتات الفلقة الواحدة وقد يبلغ 20 ذراعا (9ـ5) وقد يوجد النخاع او لايوجد. ففى كثير من النباتات ذوات الفلقة الواحدة وبعض نباتات ذوات الفلقتين لايوجد الخشب فى مركز الجذر، بل يوجد فى بعض خلايا النخاع.

وفى كثير من جذور نباتات ذوات الفلقتين يبدأ نسيج الكامبيوم فى الظهور مؤخرا اثناء النمو الابتدائى وكذلك فى المنطقة التى بين اللحاء الابتدائى والخشب الابتدائى (شكل 9ـ4). وسنذكر فى فقرة تالية مايضاف الى كامبيوم الجذر من نمو ونشاط. ويحيط بالأنسجة الوعائية طبقة ضيقة من الخلايا تكون النسيج الخاص الخارجى للاسطوانة الوعائية، وتعرف هذه الطبقة باسم الطبقة المحيطة (البيريسايكل) Pericycle. وتتركب هذه الطبقة من خلايا برنشيمية، وكما ترى فى المقطع العرضى تتكون عادة من طبقة سمكها خلية واحدة بينما يبلغ سمكها فى بعض النباتات عدة خلايا. وهذه الطبقة ذات أهمية قصوى، فمنها تتفرع الجذور ومنها ينشأ الكامبيوم الفلينى ومنها ينشأ جزء من الكامبيوم الحزمى. ففى استطاعة خلايا الطبقة المحيطة مثلها فى ذلك مثل عدد من الخلايا النباتية الاخرى، ان تحتفظ بقدرتها على انقسام خلاياها كما تحتفظ بقدرتها على مزيد من النمو حتى بعد بلوغها مرحلة النضج الفسيولوجى.

وتحيط القشرة بالأنسجة الوعائية وهى مكونة من غلاف من النسيج البرنشيمى يبلغ سمكه عددا من الخلايا، وتحتوى القشرة على مسافات بينية لها اهميتها فى الجذر الحديث. وفى هذه المرحلة من مراحل نمو الجذر تكون القشرة الجزء الاكبر منه، فتمر الاملاح المعدنية الممتصة خلال سطح كبير من الغشاء البلازمى لخلايا القشرة لتصل الى الخلايا الحية، التى تتصل ببعضها بالبلازمود سماتا plasmodesmata. ويعرف هذا النظام البروتوبلازمى المتصل باسم المدمج البلاستى Symplast ويفصل القشرة عن الطبقة المحيطة طبقة القشرة الداخلية endodermis وهى حلقة سمكها خلية واحدة فقط. وتتميز القشرة الداخلية بوجود تغليظ خاص فى جدر خلاياها وتتخذ هذه التغلظات عادة شكل شرائط شمعية رقيقة توجد على كل من الجدران الشعاعية والمستعرضة. وتسمى هذه الشرائط باسم اشرطة كاسبرى Casparian Strips وتكون هذه الشرائط فواصل بين بروتوبلاست الخلايا المتجاورة كما فى شكل (9ـ6) وتنتشر المواد وهى على هيئة محاليل، خلال الجذر الموجودة بين خلايا القشرة كما تشير الاسهم الحمراء فى الشكل، الا أن شرائط كاسبرى تحول دون انتشارها فى الجذر التى بين خلايا القشرة الداخلية. وفى الجذور المسنة لنباتات ذوات



(9ـ6) القشرة الداخلية واشرطة كاسبرى.

(أ) رسم تخطيطى لاحدى خلايا القشرة الداخلية (منظورى)
(ب) رسم تخطيطى يوضح الانتشار (بأسهم ملونة) فى جدران خلايا القشرة الى أن تتوقف هذه الحركة بواسطة أشرطة كاسبرى.

الفلقة الواحدة يحول تغلظ الجذور الداخلية دون انتشار هذه المواد خلال عديد من خلايا القشرة الداخلية، الا أن بعض هذه الخلايا تظل بدون تغلظ فتسمح بانتقال هذه المواد من القشرة الى الاسطوانة الوعائية.

وتتكون المنطقة الثالثة للجذر، وهى أقصى طبقاته نحو الخارج، من طبقة واحدة من الخلايا وهى البشرة. ولاتغطى الجذور الخارجية لخلايا البشرة بطبقة الادمة Cuticle وتنشط هذه الخلايا فى عملية الامتصاص.

الشعيرات الجذرية: The Root Hairs

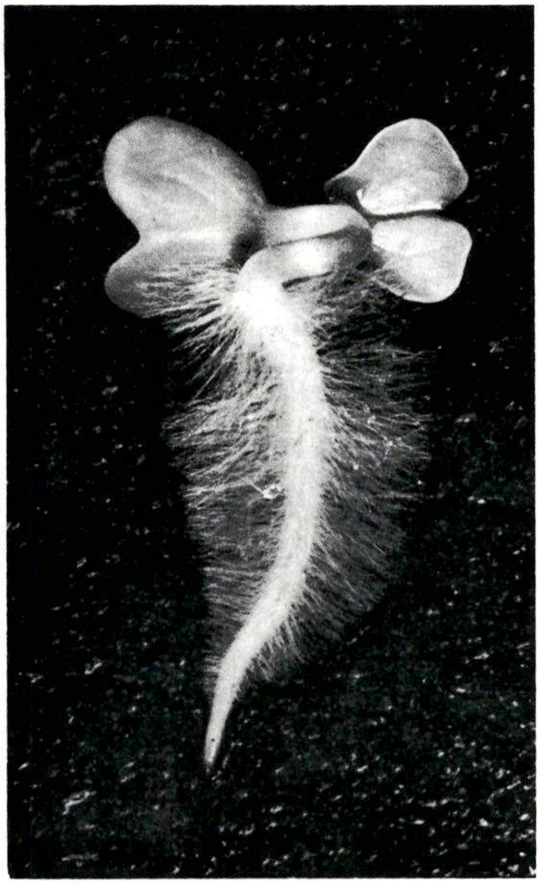
ان فحص الجزء الطرفى لجذر بادرة فجل نامية فى وسط رطب يبين انها تحمل مجموعة من الشعيرات القصيرة البيضاء اللون، قد يبلغ أطولها $\frac{1}{2}$ بوصة، (شكل 9ـ7). وتعتبر الشعيرات الجذرية من التراكيب الخاصة التى تزيد من عملية الامتصاص، لابزيادة سطح الجذر فحسب ولكن بزيادة ملامسته لحبيبات التربة ايضا وتقع هذه الشعيرات الجذرية خلف منطقة الاستطالة وبذلك لاتتلف بسبب استطالة الجذر وتعمقه خلال التربة. وهذه الشعيرات بسيطة التركيب فهى عبارة عن انابيب غير متفرعة نهاياتها مستديرة وتنشأ كنتوءات من خلايا البشرة فى منطقة النضج. وتعتبر هذه الشعيرات إمتداداً لخلايا البشرة. وتقع نواة الخلية اما فى

خلية البشرة او فى هذه النتوءات الشعرية التى تخرج منها. ويوجد داخل جدار الشعيرات الجذرية طبقة رقيقة من السيتوبلازم تحيط بفجوة واحدة او اكثر من الفجوات الكبيرة (شكل 9ـ8).

وعمر الشعيرات الجذرية قصير نسبيا. فبامتداد الجذر خلال التربة تتكون شعيرات جذرية جديدة عند الطرف الاحدث من طرفى منطقة النضج، اما الشعيرات الجذرية الابعد التى يحملها الجذر خلف هذا الطرف فانها تتهدل ثم تبلى. وعلى ذلك فكلما نما الجذر فى الطول لايحدث تغير يذكر فى منطقة الجذر التى تحمل الشعيرات الجذرية سواء فى حجم هذه المنطقة او فى وضعها النسبى.

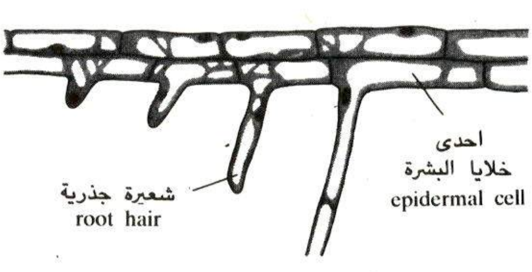
ويبدأ تكوين الشعيرات الجذرية عقب انبات البذور بفترة قصيرة، ويستمر تكوينها طالما كان الجذر فى حالة نمو، وتستطيل الشعيرات الجذرية كما يحدث فى بعض تراكيب أخرى معينة مثل الانابيب اللقاحية وتنحصر هذه الاستطالة فى طرف الخلية . وتتم استطالة الشعيرات الجذرية بسرعة كبيرة بحيث تستكمل حجمها خلال ساعات . وتمتص كثير من النباتات الارضية الماء والاملاح عبر الشعيرات الجذرية كما يمتص الجذر الحديث الماء والاملاح المعدنية خلال البشرة . وعدد الشعيرات الجذرية كبير جدا ، وفى امكاننا ان نتصور عدد الجذور والشعيرات الجذرية وامتدادها لكى تساعد هذه الصورة على تفهم كيف يتمكن النبات من الحصول على كميات كبيرة من الماء من تربة تبدو جافة تقريبا عند لمسها باليد . فنبات واحد من نبات الجودار كما سبق وصفه (جدول 9ـ1) يحمل اكثر من 14 مليارا من الشعيرات الجذرية يبلغ مساحتها الكلية اكثر من 4000 قدم مربع ، اى مايبلغ مساحة ارضية مسكنين او ثلاثة من المساكن كبيرة الحجم . فإذا اضيف الى ذلك مساحة الجذور الاصلية ، بلغت المساحة الكلية للجذر فى هذا النبات النجيلى الواحد 6500 قدما مربعا ، اى حوالى 130 مرة قدر المساحة الكلية للسيقان والاوراق ومع ذلك فحجم التربة الكلى الذى تخترقه هذه الجذور لايتعدى قدمين مكعبين (حوالى 0,055 متر مكعب).

وتعمل الشعيرات الجذرية على زيادة سطح التربة الذى يلامس المجموع الجذرى بمقدار 20 مرة ، وبفضل هذه



شكل (9ـ7) الشعيرات الجذرية لجذر فتى لنبات الفجل radish (Raphanus sativus)

شكل (9ـ8) مراحل نمو الشعيرات الجذرية لنبات ذيل القط timothy (Phleum pratense)



الشعيرات التى تمتد بدرجة كبيرة خلال التربة يتمكن النبات من الحصول على مايلزمه من ماء واملاح معدنية وبدونها لايتمكن من ذلك . ومع ذلك يعانى اصحاب الحدائق والمشاتل عمليا من التصاق كل من الشعيرات الجذرية الصغيرة التصاقا شديدا بحبيبات التربة كل حبيبة على حدة . ففى عمّلية الشتل يتمزق كل من هذه الجذيرات والشعيرات الجذرية وتنفصل عن النبات او تتلف بفعل الجفاف وبذلك تهبط بدرجة كبيرة قدرة النبات على امتصاص الماء . ويمكن تذليل هذه الصعوبة بنقل كتلة من التربة بجذورها وكذلك يرى تظليل النباتات التى تم شتلها حديثا تظليلا جزئيا .

ويسهل شتل بعض انواع النباتات الخشبية التى تنمو فى المشاتل وهى فى حالة السبات ، فتنزع من التربة وتلف الجذوربحزاز دبالى Peat moss رطب ، او بمادة اخرى حتى لاتجف . الا ان النباتات مثل المخروطيات conifers ، والرودودندرونات ruododendrons ، والازاليات azaleas ، والقرنوس dogwood المزهر ، والزان والقان وبعض الماجنوليات يتم قلعها من التربة بعد ان تترك كرة من التربة حول جذورها ، ثم تلف هذه الكرة لفا محكما بالخيش او توضع فى سلة حتى تظل التربة فى موضعها . والطريقة الاخرى هى تقليم الجذر root prune قبل قلع الشجرة لبعض الوقت ، فاذا قطعت الجذور الممتدة فى التربة على بعد مسافة قصيرة من قاعدة الشجرة ادى ذلك الى تنشيط وتكون جذور جديدة قرب جذعها وتندمج هذه الجذور الجديدة ببعضها لتؤلف كتلة مكتنزة قريبة من الساق . وبعد شهور عندما يتم حفر التربة ، فان كرتها التى حول الجذر تحتوى على عدد كبير نسبيا من المجموع الجذرى .

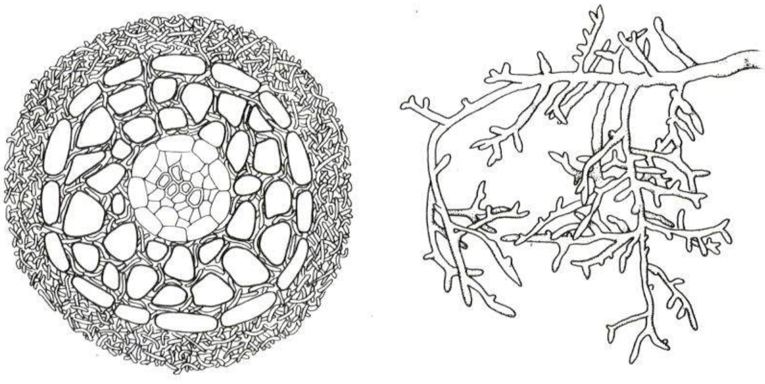
فطر الجذر : Mycorrhizae

فى عديد من النباتات الخضراء تتكون الاسطح الماصة اساسا من الشعيرات الجذرية ، وكذلك الاسطح الاخرى للجذر الحديث . وفى كثير من النباتات الاخرى تتعرض الاجزاء الحديثة النشطة من الجذور الجانبية التى « تغذى » المجموع الجذرى الى غزو من انماط متباينة من فطريات التربة . وينتج عن ذلك ارتباط وثيق معقد بين الجذر والفطر ، ويطلق على هذا الارتباط اسم Mycorrhiza (معناها اللغوى « فطر الجذر ») وغالبا لاتوجد الشعيرات الجذرية فى حالات فطر الجذر فهى تحل محلها ولو جزئيا فى امتصاص الماء والاملاح من التربة . وبالرغم من مرور 100 عام على اكتشاف ودراسة فطر الجذر فمازالت البحوث النشطة جارية فى هذا المجال ، ومازال الكثير عنها لم يعرف بعد . وقد عرف طرازان شائعان من فطر الجذر كما توجد درجات فيما بين الطرازين . وهذان الطرازان هما الفطر الخارجى للجذر Ectotrophic Mycorrhizae والفطر الداخلى للجذر Endotrophic Mycorrhizae

الفطر الخارجى للجذر *Ectotrophic mycorrhizae*

يوجد هذا الطراز فى كل من الاشجار متساقطة الاوراق والمخروطيات التى تنمو فى المنطقة المعتدلة الشمالية مثل الصنوبريات (Pinus) والتنوب الفضى (Picea) والتنوب او الشربين (Abies) والزان (المران) (Fagus) ، والبلوط (Quercus) ، والبتولا (شجرة القضبان) (Betula) والحور البلسمى (Populus) ويوجد ايضا فى جميع انواع اليوكالبتوس (Eucalyptus) التى درست ، كما يوجد فى غدة اشجار بقولية تنمو فى المناطق الاستوائية ، ويسهل التعرف على جذر الفطر الخارجى بتضخم وقصر الجذيرات الماصة التى تتفرع تفرعات عديدة وتتغلظ (شكل 9ـ9) نتيجة لوجود غلاف Sheath او غمد Mantle حولها مكون من حزم من الخيوط المتماسكة وتمتد خيوط من هذا الغلاف وتخترق التربة حيث تتفرع خلال حبيباتها . وفى بعض جذر الفطر تمتد هذه الخيوط وتتزاحم بغزارة ، وفى البعض الآخر تتباعد عن بعضها وتتشتت ، كذلك تمتد خيوط عن الغمد الى قشرة الجذر ، حيث تكون شبكة فى المسافات البينية ، كما تخترق الصفيحة الوسطى (شكل 9ـ9) واحيانا تتصل ببروتوبلاست الخلايا .

وواضح ان العلاقة الفسيولوجية بين الفطر والجذر فى هذا الطراز من جذر الفطر هى علاقة تكافلية فيحصل الفطر على مايلزمه من المركبات الكربونية من جذر العائل . وقد ينطلق من الجذر ايضا بعض الفيتامينات مثل الثيامين thiamin ، والبيوتين biotin ليستغلها الفطر . ويحدق الغلاف الفطرى



ب أ

شكل (9ـ9) جذر الفطر
(الميكورايزا) Mycorrhizae

أ ـ جذيرات فطرية rootlets منتفخة فى نبات التنوب الفضى (Picea glauca) spruce

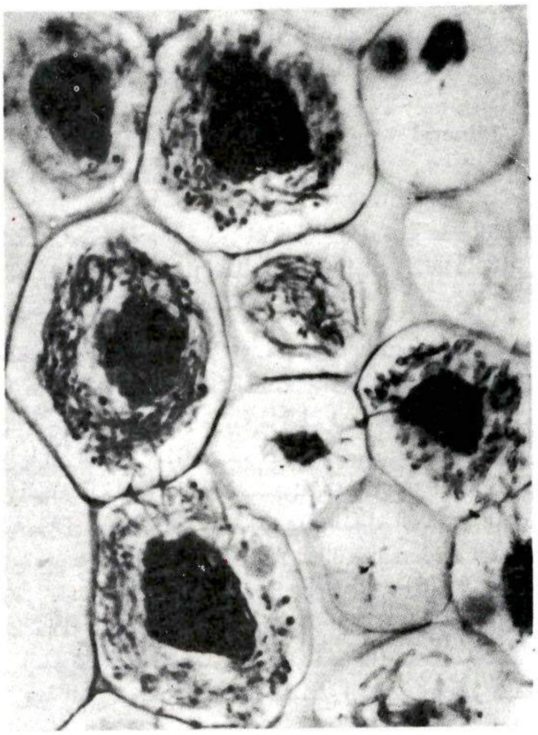
ب ـ قطاع عرضى فى الجذيرات الفطرية، ويوضح غمد من الخيوط الفطرية المحيطة بالجذر وكذلك تفرعات هذه الخيوط بين خلايا القشرة.

بدقة بالجذيرات الماصة بحيث يتوقف امتصاصها للاملاح والماء من التربة على اقترانها بالفطر . ويعتبر ذلك هاما وبخاصة فى الاراضى الفقيرة بالعناصر المعدنية اللازمة ، حيث تزيد كمية مايمتصه النبات الذى يقترن بالفطر عن الكمية التى يمتصها نبات مماثل غير مصاب بالفطر . ويرجع ذلك لا الى زيادة السطح الماص نتيجة لتفرع الجذيرات وامتداد الفطر الذى يصاحبه بين حبيبات التربة فحسب ولكن الى كفاءة خيوط الفطر وقدرتها الزائدة على امتصاص الايونات خصوصا الفوسفات من التربة .

وفى علم النبات تستعمل المعلومات الخاصة بطبيعة جذر الفطر الخارجى ووظيفته ، فاذا اريد تشجير غابة فى ارض لم يسبق تشجيرها كاراضى لبرارى Prairie مثلا ، فإنه يلزم نقل بادرات اليها من غابة تحتوى تربتها على جذر الفطر ، وبالمثل فان المشاتل التى تقام على ارض لم يسبق تشجيرها يمكن أن يضاف اليها طبقة رقيقة من الأوراق المتعفنة التى توجد فى الغابات .

الفطر الداخلى للجذر *Endotrophic mycorrhizae*

يعتبر هذا الطراز أكثر شيوعا من جذر الفطر الخارجى ، كما انه واسع الانتشار فى المملكة النباتية . إذ يوجد فى عديد من الأنواع التى تعتبر من أشجار الغابات سواء من مغطاة البذور أو المخروطيات ، كما يوجد هذا الطراز فى الشجيرات ، وكذلك فى النباتات العشبية وتشمل معظم النباتات الزهرية غير ذاتية التغذية التى يطلق عليها النباتات الرمية (الفصل الخامس) وغالبا لايتكون بها غمد فطرى كما أن الجذيرات الجانبية لاتتضخم ولايصحب هذه الجذيرات غمد من الخيوط الفطرية بل شبكة مفككة منها . وتمتد بعض هذه الخيوط فى التربة بينما تتخلل الاخرى خلايا القشرة فى الجذر ، وتتكور بعض أنواع الفطريات داخل الخلايا (شكل 9 ـ 10) ، بينما تتفرع الاخرى تفرعات ثنائية متكررة مكونة نتوءات دقيقة على



شكل (9ـ10) هضم الخيوط الفطرية فى داخل الخلايا. توجد هذه الخيوط فى جذر الفطر الداخلى لنبات الاركيد orchid (Goodyeara pubescens)

شكل شجرة تملأ الخلايا تقريبا . ويحصل الفطر على مايلزمه من المركبات الكربونية من هذا الطراز من جذر الفطر الذى يصحبه . اما النباتات الزهرية غير الذاتية التغذية فتحصل على جميع مايلزمها من المركبات العضوية من الفطر الذى يصحبها ويتم ذلك عن طريق هضم الأجزاء الغازية من الفطر التى توجد داخل الخلايا . فاذا كان الفطر متكورا داخل الخلايا ، تتكتل خيوطه وتفقد محتوياتها ، فتتجمع ككومة من الجذر الخلوية غير القابلة للهضم (شكل 9 ـ 10) . اما فى النباتات ذاتية التغذية فان أهم دور يقوم به الفطر هو تحليل مواد التربة ، فتنطلق منها العناصر التى يمتصها النبات الراقى بكفاءة عالية .

وغالبا ماتعتبر العلاقة بين كل من طرازى جذر الفطر من جهة والنبات الراقى من جهة اخرى علاقة تكافلية . وبالرغم من فرض وجود هذا التكافل فى جذر الفطر الداخلى ، إلا أن مساهمة النبات الراقى فى هذا التكافل غير واضحة . فقد ينتج النبات الراقى مواد منشطة للنمو يستغلها الفطر . ومهما كانت طبيعة هذه العلاقة ، فانه يبدو مؤكدا أن جذر الفطر فى كلا الطرازين يعتبر من العوامل البيئية الهامة فى عملية النمو، كما ان هذه العلاقة التى تربط بين الفطر والنبات الراقى تعتبر من العلاقات التكافلية واسعة الانتشار فى المملكة النباتية .

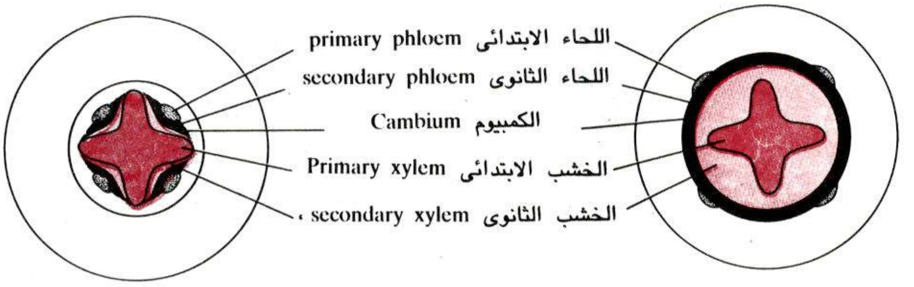
امتصاص الجذور للاملاح المعدنية : Mineral Absorption by Roots

يشمل امتصاص الجذور للاملاح المعدنية عدة آليات معقدة . وقد اثير جدل حول مظاهر هذه الآليات ولذلك سنتناول هذا الموضوع هنا بصورة عامة .

يحصل النبات على الاملاح المعدنية من التربة عن طريق انتشارها خلال الجذر الخلوية للشعيرات الجذرية ، وكذلك خلال الأنسجة الحديثة القريبة من طرف الجذر . فاذا ماتم دخولها الى الجذر تنتقل هذه الاملاح بعملية الانتشار الى داخل الجذر الخلوية للقشرة وبسهولة ينفذ كل من الماء والمواد الذائبة خلال هذه الجذر . ويعرف هذا النظام الجدارى المنفذ الذى يتميز عن بروتوبلاست الخلايا الذى يحيط به الغشاء البلازمى باسم الحيز الحر Free Space ، لان الماء والذائبات تتحرك خلاله حرة طليقة . ونتيجة لهذه الحركة التى تتم داخل الحيز الحر تتلامس الايونات مع السطوح المتسعة للاغشية البلازمية التى توجد فى خلايا نسيج القشرة . وعبر هذه السطوح إما أن تنتشر هذه الايونات ببطء حتى تصل الى السيتوبلازم او تنتقل اليه بسرعة بعملية الانتقال النشط Active Transport وداخل السيتوبلازم تنتشر الايونات مرة اخرى فى المدمج البلاستى . وتؤدى حركة البروتوبلازم الانسيابية الى الاسراع فى هذا الانتشار . وخلال الروابط البلازمية Plasmodesmata تنتقل الايونات من خلية الى اخرى مارة بالفجوات وتستمر حركة الايونات فى الاتجاه القطرى حتى تصل الى القشرة الداخلية (شكل 9 ـ 6) . وكان الاعتقاد السائد هو انقطاع المدمج البلاستى Symplast Ends عند القشرة الداخلية حيث تعمل شرائط كسبارى على ايقاف حركة الايونات خلال الحيز الحر . الا انه يوجد من الادلة مايشير الى اختراق الروابط البلازمية لجدر القشرة الداخلية . وعلى ذلك فبالرغم من انتهاء الحيز الحر عند القشرة الداخلية فان المدمج البلاستى يمتد حتى يصل الى الاسطوانة الوعائية ، ومنها ينتقل الماء كما تنتقل الاملاح المعدنية عبر عدة خلايا ناقلة الى أن يصل الأجزاء الاخرى . ويتوقف استمرار امتصاص الجذر للاملاح المعدنية على انتقال الايونات الممتصة وازالتها بصورة مستمرة من خلايا القشرة وقد تساهم ثلاث آليات ميكانيكية فى هذا الانتقال وهى : (1) قد تنتقل الايونات الى قمم النباتات وبخاصة عن طريق الخشب . (2) قد تتغير الايونات تغيرا كيميائيا داخل سيتوبلازم خلايا الجذر . فقد تنتقل ايونات النترات الى داخل السيتوبلازم حيث يتم بناؤها الى احماض امينية . هذه الجزيئات لاتعود عادة الى التربة، كما أنها لاتؤثر على امتصاص مزيد من أملاح النترات . وقد تستغل الأحماض الامينية حينئذ فى نمو الجذر أو قد تنتقل عبر الروابط البلازمية وخلايا اللحاء الى الاجزاء الاخرى من النبات . (3) وأخيراً قد تتراكم الايونات فى الفجوات العصارية لخلايا القشرة عن طريق عملية الانتقال النشط . وتشير التجارب الى أن الأملاح المعدنية التى تتراكم فى هذه الفجوات تظل هناك حيث لاتتمكن من الانتقال بسهولة الى الأجزاء الاخرى من النبات . ويحتمل انه عند وجود نقص فى الاملاح المعدنية الموجودة فى البيئة التى حول الجذر قد يستمر انتقال الايونات الى الخشب والساق على حساب الايونات التى تراكمت فى الفجوات العصارية .

النمو الثانوى فى الجذور Secondary Growth in Roots

النمو الثانوى هو احد خصائص جذور المخروطيات وغيرها من عاريات البذور وكذلك جذور نباتات ذوات الفلقتين ، وتتميز نباتات ذوات الفلقة الواحدة بعدم وجود النمو الثانوى فى جذورها . وعند بداية النمو الثانوى ينشأ نسيج الكامبيوم أولا فى الخلايا البرنشيمية التى توجد بين أذرع الخشب الابتدائى ، كما ينشأ داخل اللحاء الابتدائى . ويكون نسيج الكامبيوم خشبا ثانويا الى الداخل ولحاء ثانويا الى الخارج ، كما فى الساق (شكل 9 ـ 11) حينئذ تتمايز بدايات خلايا الكامبيوم الموجودة فى الدائرة المحيطة،فيمتد الكامبيوم على



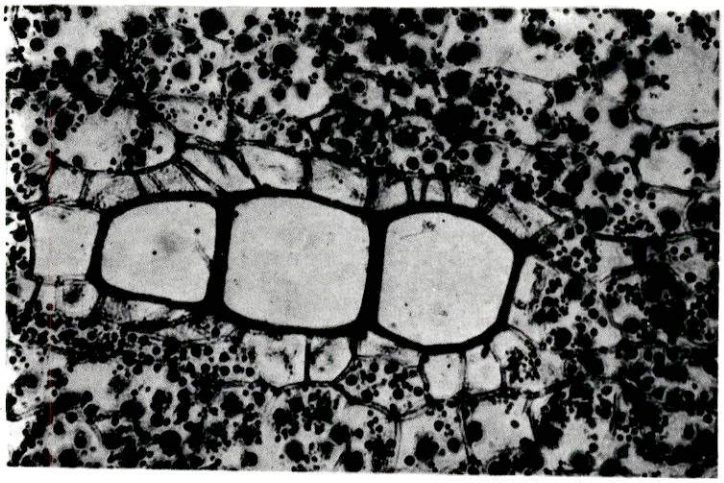
شكل (9ـ11) رسم تخطيطى يوضح النمو الثانوى فى الجذور (الى اليسار) المرحلة المبكرة للنمو الثانوى، ولقد نما فيها الكمبيوم مكونا كمية ضئيلة من اللحاء والخشب الثانويين. (الى اليمين) مرحلة متأخرة أعقبت نشاطا ملحوظا للكمبيوم.

الجوانب حول نهايات اذرع الخشب ويبدأ ايضا فى تكوين الانسجة الثانوية . وفى هذه المرحلة يكون الكامبيوم على شكل فصوص وفقا للشكل الذى عليه اذرع الخشب الابتدائى . إلا أن هذا الشكل المفصص يختفى إذا ما استمر الجذر فى النمو ، وذلك لسرعة تكون الانسجة الثانوية بين اذرع الخشب . حينئذ يكون الكامبيوم منطقة دائرية وفى داخلها توجد اسطوانة مكونة من الخشب الثانوى الذى يحيط تماما بالخشب الابتدائى (شكل 9 ـ 11) . أما منطقة اللحاء الابتدائى فتوجد خارج الكامبيوم . وعادة ما يؤدى نمو الانسجة فى الداخل الى الضغط على كل من اللحاء الابتدائى والقشرة الداخلية وتحطيمهما .

وفى الجذر لا تختلف الأنسجة الثانوية اختلافا جوهريا عن نظائرها فى الساق . وفى النباتات الخشبية قد يتشابه القلف فى كل من الجذر والساق . ويظهر الكامبيوم الفلينى اول ما يظهر فى الدائرة المحيطة ، واذا ما تكون الفلين فإن جميع الأنسجة التى توجد خارجه تموت ، وقد تختفى . وفى اللحاء الثانوى قد يتكون الفلين فى طبقة تليها أخرى أكثر عمقا . وفى الجذر كما فى الساق توجد حلقات للنمو فى الخشب الثانوى ، وعادة ما تكون هذه الحلقات أقل وضوحا فى الجذر منها فى الساق نظرا للظروف التى ينمو فيها كل منهما . وتبدو خلايا الخشب التى تتكون من الكامبيوم أرفع من مثيلاتها فى الساق ، كما ان نسبة الاوعية الخشبية الى الطرز الاخرى من الخلايا اكبر فى الجذر منها فى الساق . وبالاضافة الى ذلك تبدو الاشعة الحزمية عادة فى الجذور أكثر اتساعا وغزارة من نظائرها فى السيقان .

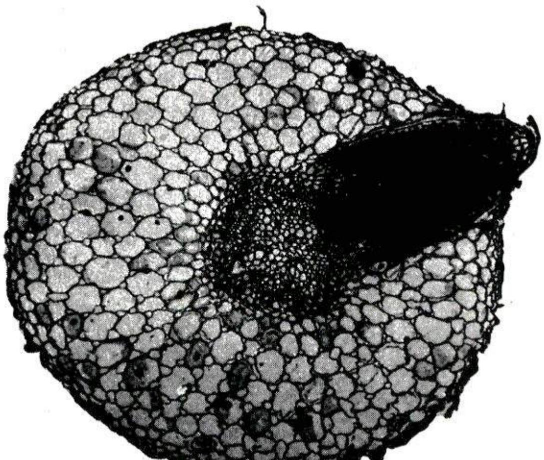
وفى النباتات التى تختزن الغذاء فى جذورها والتى تصلح للأكل ، مثل البنجر والجزر واللفت والجزر البرى parsnip والفجل البرى horseradish والبطاطا الحلوة والكاسافا cassava ، يتكون الجزء الاكبر من اعضاء التخزين من انسجة ثانوية . ولا يكون الكامبيوم فى الجذر خلايا ذات جذر سميكة كما فى الساق ولكنه يكون أوعية ذات جذر رقيقة توجد عادة فى مجاميع يصحبها تكتلات من خلايا خاصة من برانشيمية الخشب . ومثل هذه الجذور تصلح للأكل بسبب رقة خلايا الخشب وغزارة الخلايا البرنشيمية بها (شكل 9 ـ 12) . أما إذا تكونت الأوعية والألياف ذات الجذر المغلظة كما فى الجذور والسيقان الخشبية وكما فى أنواع الجزر البرى parsnip فإن الجذور تتصلب وتصبح غير صالحة للاكل .

الجذور الجانبية Lateral Roots العادة تبدأ تفرعات الجذر أو الجذور الجانبية فى النمو قبل ان ينشط نسيج الكامبيوم . وبانقسام عدة خلايا من الطبقة المحيطة عند نهاية ذراع الخشب تتكون قمة جديدة للجذر مخروطية الشكل . ونمو هذه القمة يدفعها الى الخارج فتحطم خلايا القشرة الداخلية والقشرة والبشرة أو تعمل على زحزحتها جانبيا ، ثم تبرز هذه القمة خارج انسجة الجذر (شكل 9 ـ 13) . وغالبا



شكل (9-12) قطاع عرضى لجزء من جذر لحمى لنبات الكسافا (المنيهوت) cassava (Manihot esculenta) لاحظ مجموعة الاوعية المحيطة بالخلايا البرنشيمية للخشب والممتلئة بالنشاء.

ما يذكر أن فطريات التربة تنفذ من الجروح الناشئة عن بروز فروع الجذور فتصيبها بالأمراض . وتنمو قمة فرع الجذر وينضج ما يوجد خلفها من الخلايا وتكون أنسجة تماثل الأنسجة الموجودة فى الجذر الأصلى . وتتميز خلايا قاعدة فرع الجذر المحصورة فى الطبقة المحيطة وتعمل على توصيل الأنسجة الوعائية فى كل من الجذر الاصلى وفرع الجذر . وفى



شكل (9-13) قطاع عرضى فى جذر فتى لنبات فول الصويا soybean (Glycine max) يوضح منشأ الجذر الجانبى.

مرحلة متقدمة يتصل الكامبيوم فى كل من الجذر الاصلى وفرع الجذر . فهذه النشأة للجذر الجانبى من أنسجة متعمقة فى العضو الأصلى تختلف اختلافا واضحا عن نشأة الأوراق والأفرع التى تخرج من أنسجة سطحية فى الساق .

التربة : The Soil

معرفة الجذور وإدراك مهامها يتطلب بالأحرى دراسة التربة . فلكى ندرك المهام التى يقوم بها النبات يلزم الاحاطة بالتفاعلات التى تحدث بين الجذور وبين التربة . فالاختلاف فى أنواع التربة يقابل تقريبا اختلاف فى أنواع النباتات التى تنمو بها . وتتأثر طبيعة التربة بعديد من العوامل : منها طبيعة الصخور التى تكونت منها ، ومنها مناخ المنطقة ومنها النباتات والحيوانات التى تعيش داخلها أو فوق سطحها ومنها درجة تعرضها وكذلك ميلها . ويلزم أن يضاف إلى ذلك نشاط الانسان الذى يعمل باستمرار على أن يغير من طبيعة التربة ، سواء إلى الأحسن أو إلى الاسوأ عن طريق وسائله الزراعية أو رعى حيواناته المستأنسة (الأليفة) أو عن طريق استغلاله للغابات استغلالا خاطئا .

ومن الظنون الشائعة أن التربة تتكون من مواد لا حياة فيها ، إلا أن التربة مقام لكثير من الكائنات الحية . ففيها تعيش البكتريا والفطريات والطحالب والحيوانات الأولية والحشرات والديدان بانواعها المختلفة من ديدان الأرض إلى النيماتودا nematodes المجهرية . فالكائنات الحية الدقيقة

(البكتريا) التى تعيش فى قدم مكعب من سطح ارض غابة قد يبلغ عددها 400 مليار كائن حى ، وهذا العدد الذى يعيش فى هذا الحجم يفوق عدد سكان الكرة الارضية بحوالى 100 مرة . وقد نشأت التربة على سطح الكرة الارضية نتيجة لنشاط النباتات وغيرها من الكائنات الحية مقرونا بتفتت الصخور عبر العصور نتيجة لعمليات طبيعية وكيميائية .

قوام التربة Soil Texture: توجد المواد التى تتكون منها التربة على هيئة حالات ثلاث : الصلبة والسائلة والغازية . ويتكون الجزء الصلب من مواد غير عضوية واخرى عضوية ، والمواد الاخيرة اما أن تكون حية أو غير حية . ويتكون الجزء الصلب غير العضوى من جسيمات معدنية تصنف إلى ثلاثة اقسام هى : الرمل sand والطمى clay والطفل silt . ويتراوح قطر جسيمات الرمل بين 2 وبين 0.02 من المليمتر ، وجسيمات الطمى بين 0.02 وبين 0.002 من المليمتر . اما الجسيمات الاقل من 0.002 من المليمتر فتصنف ضمن جسيمات الطفل واختلاف نسب هذه الجسيمات هو الذى يحدد قوام التربة . وعلى هذا الاساس يمكن تقسيم الارض الى اربعة مجاميع كبيرة هى : الرملية Sands والطينية loams والطميية clays والطفلية silts .

وتتكون الأرض الطينية النمطية من حوالى 40 فى المائة من كل من الرمل والطمى مع 20 فى المائة من الطفل . ومع هذا تختلف الأراضى الطينية اختلافا كبيرا فى تركيبها . والدليل على ذلك هذه الاسماء التى سميت بها وهى الطينية الطميية الرملية والطينية الطميية ، والطينية الطفلية والطينية الطميية الطفلية . والطمى هو أهم الاجزاء التى تحدد صفات الأراضى . فالأراضى التى تحتوى على أكثر من 40 فى المائة من الطمى تعتبر أرضا طميية أكثر من كونها أرضا طينية . وكثير من الاراضى الزراعية الهامة تعتبر ارضا طينية .

تركيب التربة Soil Structure عادة ماتتجمع الدقائق الاولية للتربة على هيئة جسيمات ثانوية اكبر حجما يطلق عليها التجمعات او الكومات aggregates، وتختلف هذه الكومات فى الشكل والحجم، وتلتصق دقائق الكومات ببعضها بمركبات تنتجها البكتريا اثناء تعفن المواد العضوية الموجودة فى التربة، ويختلف مدى هذا التجمع ويتوقف على الغطاء النباتى ومحتويات التربة من المواد العضوية، وقوام التربة، وكمية المطر، ودرجة الحرارة، كما يتوقف على عوامل اخرى. ويتحدد تركيب التربة بكمية وحجم وشكل وترتيب تلك التجمعات، وفى معظم الاراضى كلما زاد محتوى التربة من المواد العضوية ودقائق الطفل والطمى الناعمين كلما زادت درجة التجمع.

ولم تذكر حتى الآن الا الجزء الصلب من التربة، ولايقل اهمية عن ذلك الحيز المسامى pore Space بين دقائق التربة وكذلك بين تجمعاتها، ويحدد حجم وتركيب الجسيمات والتجمعات فى التربة حجم وشكل الحيز المسامى، وتحتوى المسام على الهواء او الماء اوكليهما، ويتراوح حجم هذا الحيز مابين 30 الى 60 فى المائة من حجم التربة. وتؤثر النسبة بين الهواء وبين الماء فى الحيز المسامى تأثيرا كبيرا على صلاحية التربة لنمو النبات ، وللمسام الموجودة فى التربة حجمان عادة : حجم صغير او حجم مجهرى micropore يمتلىء غالبا بالماء، وحجم كبيراو منظور macropore ويحتوى على الماء والهواء معا او الهواء فقط، وتعتبر الاراضى الرملية التى يغلب فيها وجود المسام الكبيرة من افضل الاراضى بالنسبة للتهوية كما ان الماء يمتص منها بسرعة، الا ان عيبها هو ضعف قدرتها على الاحتفاظ بالماء، كما ان الرطوبة تتسرب خلالها بسرعة . واضافة المواد العضوية الى مثل هذه الاراضى يزيد من قدرتها على الامساك بالماء . ويرجع ذلك اولا الى ان المواد العضوية نفسها تحتوى على مسام صغيرة، وثانيا لان تجمعات التربة التى تتكون لها قدرة على الامساك بالماء اكبر من قدرة الاراضى الرملية التى لاتحتوى على هذه التجمعات، وتحتوى الاراضى الثقيلة مثل الاراضى الطينية الناعمة على قليل من المسام الكبيرة، وعلى ذلك تقل حركة الماء والهواء فيها . وتفوق قدرة الاراضى الطينية على الامساك بالماء قدرة الاراضى الرملية بمقدار ثلاث الى ست مرات، الا ان التهوية فى هذه الاراضى لاتفى بحاجة الجذور للتنفس. ومع ذلك يمكن تحسين هذه الاراضى الى حد كبير باضافة المواد العضوية فهذه المواد تعمل على تجمع دقائق التربة فيساعد ذلك على تكون المسام الكبيرة، وانسب تركيب للتربة هو الذى يحتوى على المسام الكبيرة والصغيرة معا بنسبة لائقة . فالمسام الكبيرة تسمح بتسرب ماء المطر والصرف السريع وكذلك التهوية المناسبة، اما المسام الصغيرة وكذلك اسطح دقائق التربة فانها تحتفظ بالماء..

الهواء فى التربة Air in the Soil عادة مايستخف باهمية الهواء بالنسبة لجذور النباتات فالجذور تتنفس شأنها فى ذلك شأن الاجزاء الاخرى من النبات وغاز الاوكسجين ضرورى لتنفس هذه الاعضاء كما هو ضرورى ايضا لتنفس السيقان والاوراق والازهار والثمار. فالجذور بالاضافة الى النباتات والحياة الحيوانية التى تعيش فى التربة، تستنفذ الاوكسجين

وتزيد من محتواها من غاز ثانى اوكسيد الكربـون، الا ان سير العمليات البيولوجية واستمرارها داخـل التربـة يتأثـر بعملية الانتشـار وفاعليتهـا. فينتشر غاز ثـانى اوكسيد الكـربون من التربة الى خارجها. اما غاز الاوكسجـين فانـه ينتشر من خارج التـربة الى داخلهـا، وبذلـك تستمر عمليـة التنفس الهـوائى، ويسود هذا النوع من التنفس فى الاراضى جيدة الصرف اثنـاء معظم فصل النمو.

الا ان النقص فى المسام، فى بعض الاراضى يحول دون تبادل الغازات بها، فقـد يحدث ذلـك فى التربـة الموحلـة، اى الارض الثقيلة التى تدمـج حينما تبلـل فتغلق معظم المسام بهـا وذلك نتيجة لتفتيت مجاميع التربة. ودوام زراعة التربة بالمحاصيـل كـالذرة والقطن والتبـغ، وبنجر السكـر وكثـير من الخضروات يعمل على استنزاف مافيها من مواد عضـوية، كمـا يعمل عـلى تلف تـركيبها وقلـة مـابهـا من حيـز مسـامى ويبلـغ تـركيـز الاوكسجين حده الادنى فى الاراضى رديئـة الصرف او الاراضى المغمورة بالماء. وفى مثل هـذه الاراضى تنمو نبـاتات المحـاصيل نمـوا ضعيفا او تمـوت بسبب الظـروف غـير المـلائمـة لتنفس الجذور ونموها. فالتهـوية غـير الكافيـة تعمل عـلى ضعف نمو الجـذور نفسها، كمـا تعمل عـلى اعـاقـة امتصـاص الامـلاح المعدنية والماء وتؤثر عـلى نشاط الكـائنات الحيـة الموجـودة فى التربة. والنباتات التى تنمو فى المواقع المرتفعة تختلف اختلافـا كبيرا فى قدرتها على تحمـل النقص فى الاوكسجين الـذى يصل الى جذورها، فبعض هذه الانواع يبدو عليه التلف خـلال بضع ساعات او ايام، وبعضها الاخر ويشمل انـواع الاشجار يبقى حيا لعدة اسابيع او حتى ايام، خصوصا اذا كان الطقس باردا حيث ينخفض معدل عملية التنفس.

هذا من جهة ومن جهة اخرى فـان كثيرا من الانـواع سواء الخشبيـة منهـا او العشبيـة تـزدهـر فى الاراضى الغـدقـة او المستنقعـات بالـرغم من انخفـاض تـركيـز غـاز الاوكسجـين انخفاضا كبيرا فى الوسط الذى يحيط بالجذور. وتتوقف قـدرة النباتات على النمو فى مثل هذه الظروف على ملاءمتها لهـا سواء من جهة تركيبهـا او فسيولـوجيتها. فـالنباتـات العشبية التى تعيش فى المستنقعـات بهـا عـادة مسـافـات بينيـة واسعـة فى سيقانها وجـذورها ينتشر خـلالها غـاز الاوكسجين ويتجـه الى اجـزائها السفليـة. فمثلا نبـات الرز الـذى يزرع فى الاراضى المنخفضة، ينمو فى تربة يبلغ عمق الماء فيها 3 ـ 9 بوصـة وذلك لوجود مسافات هوائية واسعة فى قواعد اوراقه وفى جذوره.

وتنمـو النباتـات الخشبية نمـواطبيعيـا فى الارض الملحيـة والمنـاطق الاخرى الفقـيرة فى غاز الاوكسجـين. وتشمـل هـذه النباتات انواع الصفصاف ونبات النسه (Nyssa aquatica) tupelo gum وانواع عـدة من المران ونبـاتات التـين الهندى mangroves، التى تنمو على شواطىء البحار، واشجار السرو العادى bald cypress الذى ينمو فى الغابات الجنوبية فاذا نما السرو العـارى (شكـل 9 ـ 14) فى المستنقعـات فـان جـذوره الافقية تحمل نموات قائمـة مخروطيـة يطلق عليها ركب السرو cypress knees، ولاتتكـون هـذه الـركب اذا نمـا السرو فى الاماكن الجافة، كما انها لاتتكون اذا كان الماء عميقا والاعتقاد السائد منـذ مدة طـويلة ان هـذه التراكيب مـاهى الا اعضاء للتهوية تسمح بتبادل الغازات بين الهواء الجوى وبـين الجذور المغمورة، الا ان ذلك لم يتأيد بعد بالتجربة، ويمكن اعتباره غير ذا اهمية. وتوجد الجذور الهوائية فى عـدد من النباتـات التي تعيش فى المنـاطق الاستوائيـة وشبه الاستـوائية، خصـوصا بعض انـواع نباتـات التين الهنـدى، ففى هذه الانـواع تمتـد جـذورها الافقيـة المدفـونة فى الطـين الى الخارج مبتعـدة عن الشجرة الاصلية، ثم تمتد الجذور الهـوائية التى يبلـغ طولهـا 10 ـ 15 بـوصة الى اعـلى ناحيـة الهواء مبتعـدة عن الجـذور المدفونـة (شكل 9 ـ 15) وتعمـل هذه الجـذور الهوائيـة عمل المداخن لتحديد الهواء. وهى اسفنجية التركيب وبها مسافات بينية واسعة تسمح بتبادل الغـازات بين الهـواء الجوى وبـين الجذور المغمورة.

وارتفاع مستوى التربة حول اشجار الظـل يؤدى غالبـا الى الاضرار بها او موتها، وقد تحدث مثل هـذه الحالات عنـد شق الطـرق الواسعـة، او تشييد المسطحـات الخضراء والشرفات، فاشجار مثل البلوط والجوز الامريكى والزان والقيقب السكرى sugar maple وانواع معينة من المخـروطيات تصـاب باضرار بالغة، كما ان انواعا اخرى قـد تتضرر ايضا، وكلمـا زاد عمق اكوام التربـة كلما زاد احتمـال اصابـة هذه الانـواع باضرار خصوصا عنـد وضع تـربة تحتيـة subsoil ثقيلة فـوق سطح التـربة الاصـلى، ويظن ان هـذا الضرر نـاتـج عن نقص غـاز الاوكسجين الذى يصل الى الجذور والى قاعدة الجذع.

ويمكن تلافى الضرر الناشىء عن تكوم التربة بحفر بئر جافـة تمتد الى اسفل حتى تصل الى مستوى التـربة الاصـلى وتحيط بقـاعدة الجـذع وبالاضـافة الى ذلـك يمكن وضع قـوالب من الطوب النىء فى خنادق ضحلة على شكـل انصاف اقطـار تمتد من البئـر اسفل الافـرع وتنتهى حيث ينتهى تفرعهـا، فتسمح هـذه القوالب بنفـاذ الهواء، كمـا تسمح بتسرب المـاء الـزائـد وصرفـه بعيدا عن قـاعدة الشجـرة، وفى العـادة يسبب تكـوم التربة اضرارا بالغة للاشجار التى تنمـو فى الاراضى المرتفعـة، كما يسبب اضرارا للانواع التى تنمو فى السهول والتى يغمرها ماء الفيضان مثل نبات الصفصاف الا ان بعض انواع الحـور والبلوط والمران والدردار تعتبر اكثر مقاومة لهذه الاضرار.

الماء فى التربة: Water in the Soil يمكن تصنيف الماء فى التـربة الى ثـلاثة اقسـام هى: (1) مـاء الجـاذبيـة الارضيـة gravitational، (2) المـاء الشعرى capillary، وكـذلـك (3)



شكل (9ـ14) نبات الكيباريس cypress (Taxodium distichum) فى جنوب كارولاينا. توضح مقدمة الصورة «ركبة النبات» cypress knees



شكل (9ـ15) جذور هوائية لنبات التين الهندى الاسود black mangrove (Avicennia nitida) ولاية فلوريدا.

ماء رطوبة الهواء hygroscopic ومعظم الماء الذى يضـاف الى التربة سواء أكان ماء المطر او ماء الرى يتسرب الى طبقة التربة التحتية ويصبح فى النهاية جـزءا من الماء الارضى او يصـل الى مجـرى الماء بفعـل الصرف ويعرف هـذا المـاء الـذى لاتتمكن التـربة من الاحتفـاظ به بمـاء الجاذبيـة الارضيـة، وفى بعض الاراضى يتحـرك ماء الجـاذبية الارضيـة بسرعـة، وفى اراضى اخرى يتحرك ببطء والسرعـة التى بها يبـارح الماء التـربة لهـا اهميتها الزراعية، وحيث ان ماء الجاذبية الارضية يملأ الحيز المسامى الواسع فى التربة فيؤثر على تهويتها ونمو الجذور بها، فان من الضرورى انشاء نظـام للصرف سواء أكـان على هيئـة انفاق او على شكل اخاديد مكشوفة وذلك لازالـة هذا المـاء من التربة كما ان حركة الجاذبية الارضية خلال الاراضى تزيد من صعوبة احتفـاظ الارض بخصوبتهـا لانها تـزيل منهـا كميات كبـيرة من المخصبات الـذائبة فـلا تنتفع بهـا الحياة النبـاتية وتتمكن الجذور من امتصاص ماء الجاذبيـة الارضية، الا انـه قليـل الاهمية لانـه يصرف خلال بضـع ساعـات او ايام فـاذا تشبعت التربة به لمدة اطول كان ضرره اكثر من نفعه.

والماء الذى تحتفظ به التربة ضد الجاذبية الارضية هو الماء الشعرى فهو يملأ اضيق حيز مسـامى فى التربـة، ويوجـد على شكل اغشية رقيقة حول حبيبـات التربـة او على هيئـة اشكال وتدية بين النقط التى تتلامس عندها هـذه الحبيبات ببعضهـا، وهذا الماء الشعرى ينقسم بدوره الى ثلاثة اقسام هى (1) الماء الشعـرى الطليق free capillary water (2) المـاء الشعـرى الميسر available capillary water ، وكـذلـك (3) المـاء الشعرى غير الميسر unavailable capillary water .

الماء الشعرى الطليق ***Free capillary water*** بعـد ان يتوقف الصرف الذى يلى المطر او الرى، يستمر المـاء فى التحرك بالخاصية الشعريـة مثل مـايتحرك المـاء الى اعلى فى الاتـابيب الشعرية الزجاجية (شكل 7 ـ 8) فقد يتحرك الماء الى اسفل او جانبيا او الى اعلى ويتجه نحو سطح التربة الجاف، ومثل هـذه الحـركة للمـاء الشعـرى الطليق تؤدى الى انخفـاض النسبـة المئوية للـرطوبـة فى التربـة التى يتم الصرف فيها الى الثلث او اكثر فتتحول الارض الموحلة الى ارض رطبة صالحـة للزراعـة وبحركة الماء الى اعلى يحتفظ سطح التربة برطوبته، فـاذا جف سطح التربـة كان هـذا دليلا عـلى ان الحركـة السريعة للمـاء بالخاصية الشعرية قد توقفت، وفى معظم الاراضى اذا ما جفت التـربة نتيجـة لهذه الحـركة رقت الاغشيـة المائيـة التى حول الحبيبات بالتدريج وذلـك الى الحد الـذى فيه تتقطـع الاعمدة المائية وعندئذ تهبط حركة الماء الشعرى او تتوقف تماما.

الماء الشعرى الميسر ***Available capillary water*** عندما تتوقف حركة الماء الشعرى الطليق ويصبح سطح التربة جافـا فان التربة التى تحت السطح مباشرة تحتوى غـالبا عـلى كمية مثالية من الرطوبة اللازمـة للزراعـة او التى يحتاجهـا النبات لنموه، ويطلق على النسبة المئوية للرطـوبة فى التـربة عنـد هذه النقطة اسم النسبة المئوية الحقليـة Field percentage، كما يطلق عليهـا السعـة الحقليـة Field Capacity ، ولـدرجـة الرطوبـة التى تقدر بـالنسبة المئـوية الحقليـة اهمية قصـوى سـواء للنبات او الـزراعة فهى تمثـل سعة التخـزين storage capacity وهى اقصى قـدرة للاراضى النمطيـة عـلى الاحتفـاظ بـالماء وتخـزينه. فـالاراضى الجافـة فى كانسس Kansas حتى **ســاسكــاتشــوان** Saskatchewan وهى من الاراضى التـى تحرث ثم تترك بلا زراعة كل سنتين او ثلاث سنوات، يطلق على هـذه الاراضى اسم الاراضى البور fallowed soils، والغـرض من هذه العملية هى مقاومة الحشائش فى هذه الاراضى وكـذلك اتاحة الفرصة لها للاحتفاظ برطوبتها واستغلال مابهـا من ماء فى السنـين التى تتم فيها زراعتهـا وتتشبث التربـة بهذا المـاء المخزون فيها بكميـة تعادل النسبـة المئويـة الحقلية او تقـرب منها، وذلك فى طبقاتها التى بين طبقة التـربة التحتيـة الجافـة وبين الطبقة السطحية الجافة. وفى حالة خلو هـذه الاراضى من النباتات فان تربتها تحتفظ بمعظم مابهـا من ماء لعـدة شهور. اما اذا نمت النباتات بها سواء أكانت من المحاصيل او من ، الحشائش فإن هذه النباتـات تمتص ما يقـرب من نصف الماء المختزن بها . وفى البداية يحدث الامتصاص بسرعة ثم يتباطـأ بعد ذلك اذا ما رقت الاغشية المائية التى تـوجد حـول حبيبات التربة وقوى التجمع السطحى لهذه الحبيبات لهذه الاغشية .

وعنـدما تبلـغ قوى adsorption forces 14 – 15 ضغطـا جويا أى حوالى 200 رطل للبـوصة المـربعة فـإن ما يتبقى من المـاء فى معظم الاراضى يصبح من الـوجهة العمليـة غـير ميسر للنبـات ، فيتوقف نمـوه ثم يبدأ فى الـذبول حتى ولـو وضـع فى الظل ، ويطلق على النسبة المئوية للرطوبة فى التـربة عنـد هذه النقطة اسم النسبة المئوية للذبول الدائم Permanent Wilting Percentage . وفى هذه التربة تبقى النباتات الذابلة حية لمدة يقاس بها درجة مقاومتها للجفاف ، إلا أنها لا تتخلص من الذبول ، وفى النهـاية يقضى عليهـا إذا لم يضف الماء للتـربة . وبجفاف التربة تدريجيا يهبط نمو النبات إلى أن يتوقف تمـاما قبل ان يذبل ذبولا دائما . الا ان النبات يستمر فى قيامه بعملية البناء الضوئى فيزداد وزنه الجاف الى ان يذبل فعلاً . ويجب ملاحظة أن قوة التوتر الناشئـة عن الذبول المؤقت وهى 15 ضغطا جويـا ماهى الا قيمـة تقريبيـة وجدت فى كثير من الأراضى الزراعية الجيـدة . فقد سجلت قيم

أعلى بكثير من هذه القيمة فى النباتات التى تقاوم الجفاف والتى تنمو فى أراضى صحراوية معينة تتباطأ فيها حركة الماء تدريجيا كلما زادت قوى التوتر فيها . وترتبط نقطة الذبول الدائم بتوقف الجذر عن النمو إذا بلغت قوى التوتر للرطوبة 15 ضغطا جويا فى المتوسط ، كما ترتبط بحركة الماء الشعرى فى معظم الأراضى ، إذا بلغت هذه الحركة الصفر أو قاربت ذلك . فإذا لم تنمو الجذور فى اتجاه الماء أو إذا لم يتحرك الماء فى اتجاهها توقف امتصاصها للماء .

والنقاط الاساسية بالنسبة لرطوبة التربة هى (1) النسبة المئوية الحقلية The Field Percentage حيث تحصل الجذور على ما يلزمها من الماء بسهولة ويسر ، وحيث لا تبتل التربة بدرجة عالية فتؤثر على عملية تنفس الجذور ونموها وبالتالى على الزراعة (2) النسبة المئوية للذبول الدائم The permanent wilting percentage . ويطلق على مقدار الماء الشعرى المحصور بين هاتين النقطتين اسم الماء الشعرى الميسر وتعتبر هذه المقادير اهم مصدر للرطوبة التى يحتاجها النبات وغالبا ما تعتبر المصدر الوحيد له .

وكمية الماء التى تتشبث بها تربة خاصة سواء أكان ذلك عند النسبة المئوية الحقلية أو النسبة المئوية للذبول الدائم تتحدد اساسا بحجم حبيبات التربة ، أى تتحدد بقوامها . فحبيبات الطمى الصغيرة لها سطح كبير يؤدى إلى تكوين عدد عظيم من المسام الدقيقة فى الحيز المسامى . ولذلك فإن كمية الماء التى تتشبث بها تربة طميية يزيد كثيرا عن نظيره فى تربة رملية . وفيما يلى النسب المئوية المثالية لرطوبة التربة فى عدة طرز منها (جدول 9 ـ 2) .

جدول (9 ـ 2)

النسب المئوية المثالية لرطوبة التربة

طراز التربة	النسبة المئوية الحقلية	النسبة المئوية للذبول الدائم	الكمية المختزنة من الماء الشعرى الميسر
رملية sand	6	3	3
طينية رملية sandy loam	10	5	5
طينية طفلية silt loam	20	10	10
طميية clay	40	20	20

ومن الجدول (9 ـ 2) يتبين أن التربة الطميية تتشبث بمقدار من الماء يبلغ أربعة أمثال نظيره فى التربة الطينية الرملية ، إلا أن هذا الماء يوجد فى الطراز الأول على صورة لا يستطيع النبات استغلالها كلها (النسبة المئوية للذبول الدائم) . كما أن الكمية المختزنة من الماء الشعرى الميسر فى تربة طميية وهى الكمية التى يتمكن النبات من استغلالها تبلغ أربعة أضعاف نظيرها فى تربة طينية رملية . والأراضى الثقيلة سواء أكانت أراضى طينية طفلية أو أراضى طينية طميية طفلية أو ما بينهما هى المفضلة بين الأراضى التى تترك لتجف قبل زراعتها ، وذلك لقدرتها على تخزين الرطوبة واستغلالها فى إنتاج المحاصيل . أما الأراضى الطينية الرملية أو الأراضى الطينية ذات القوام الأخف التى تحتوى على كمية من الماء تفى بحاجة النبات فإنها هى المفضلة بين الأراضى ، حيث يسهل إجراء العمليات الزراعية بها ، كما أنها تمتص كمية الأمطار الساقطة عليها بسرعة ، فضلا عن أنها حسنة التهوية وأنسب لنمو الجذور .

الماء الشعرى غير الميسر : *Unavailable capillary water*

ينحصر مدى هذا الماء بين النسبة المئوية للذبول الدائم وبين ماء التميع . والأخير هو ما يتبقى فى التربة بعد جفافها فى الهواء وهو على شكل اغشية جزئية تحيط بحبيبات التربة . ولايتحرك هذا الماء إلا على شكل بخار وليس له أية أهمية فى حياة النبات .

حركة الماء الشعرى الميسر : Movement of Available Capillary Water

كان الاعتقاد السائد منذ مدة طويلة أن الماء الشعرى الميسر يتحرك بسرعة فى التربة وأن الماء الذى تستنفذه الجذور من المناطق القريبة منها يتحدد بفعل حركة الماء من المناطق التى لم يستنفذ ماؤها بعد . ففى المختبر إذا ملئت اسطوانة بتربة ووضع أحد طرفيها فى اناء به ماء فإن الماء يرتفع بسرعة خلال التربة وذلك بالخاصية الشعرية . وقد تفسر هذه التجربة كيف يتم رى النباتات التى تزرع فى الاصص فى المنازل ، إلا أنها لا تعبر عما يحدث فى الحقل ، فالماء فى الاناء يناظر

مستوى الماء الأرضى Water Table أو التربة المشبعة على الدوام . وفى معظم المناطق الزراعية فى الولايات المتحدة يوجد مستوى الماء الأرضى على أعماق بعيدة كل البعد عن السطح بحيث إن حركة الماء منه إلى أعلى تعتبر لا أهمية لها كمصدر من مصادر الماء للنباتات .

وقد اتضح أن الماء الشعرى الميسر (وهو الماء الذى يوجد فى التربة عند النسبة المئوية الحقلية أو أقل منها) لا يتحرك فى التربة إلا حركة بطيئة جدا نحو الجذور القريبة منه وذلك لمسافة قصيرة . وأثناء الفترات التى ترتفع فيها عملية النتح تنتزع الجذور الماصة الماء الذى حولها مباشرة وبسرعة بحيث تحاط هذه الجذور الماصة بطبقة من التربة توشك على الجفاف . وحيث إن الماء فى التربة الرطبة التى ينمو بها النبات فعلا لا يتحرك حركة يعتد بها ، فإن مواصلة امتصاص الجذور للرطوبة تتوقف على المطر الذى يسقط على التربة أو تتوقف على نمو الجذور وشغلها لمناطق جديدة من التربة . ويبدو من ذلك أهمية المعدل الذى تنمو به الجذور ، فقد يبلغ معدل نمو جذور التفاح 1/8 إلى 3/8 من البوصة يوميا . ومتوسط نمو نجيليات البرارى الغربية المتوطنة يبلغ أكثر من 1/2 بوصة يوميا . وقد تستطيل جذور البطاطس بمعدل يبلغ بوصة واحدة يوميا ، ويستمر هذا المعدل لعدة اسابيع . والجذور الأصلية العمودية لنبات الذرة تخترق التربة متجهة إلى أسفل بمعدل 2 الى 2 1/2 بوصة يوميا وذلك لفترة 3 أو 4 اسابيع . وتنمو هذه الجذور لا بحثا عن الرطوبة ولكن لأن الظروف المحيطة بها من رطوبة وتهوية تناسب نموها . ولا تنمو جذور النباتات حتى ولو لبضعة بوصات فى تربة تصل نسبة الرطوبة بها إلى النسبة المئوية للذبول الدائم ، إلا أنها تنمو حيث توجد الرطوبة الميسرة لها وحيث يوجد الهواء والاملاح المعدنية .

الزراعة : **Cultivation** لزراعة التربة سواء بالادوات اليدوية أو الآليات عدة أهداف هى (1) التخلص من الحشائش ، وهذا هو الغرض الأساسى من الزراعة لأن الحشائش تتنافس مع نباتات المحاصيل على ما يوجد فى التربة من مواد غذائية وماء وثانى اوكسيد الكربون ، كما تتنافس معها اذا ما كبرت على الضوء . (2) زيادة مسامية التربة وبالتالى تحسين تهويتها (3) زيادة امتصاص التربة للمطر الذى يسقط عليها . فسطح التربة المدمج غير المزروع لا يسمح عادة إلا بقليل من ماء المطر بالتسرب خلاله . وإذا ما سقط المطر بغزارة انزلق هذا السطح وتآكل . ويعتبر الهدفان الأول والثانى من الأهداف الزراعية قليلة الأهمية ، سواء فى الأراضى الرملية نوعا ما أو فى الأراضى التى تحتفظ بمحتوى عال من المواد العضوية ، نتيجة لما تلقاه من عناية وتدبير . وتعظم أهمية هذه الأغراض فى الأراضى الثقيلة التى تحتوى على كمية قليلة من المواد العضوية خصوصا إذا كانت مدمجة نتيجة لمعاملتها بالآلات الثقيلة . إلا أن الزراعة لا تغنى عن تربة جيدة التركيب يمكن الحصول عليها باضافة كمية كافية من المواد العضوية إلى الأراضى الثقيلة . وفى وقت من الاوقات استخدمت الزراعة للحصول على طبقة مفككة جافة من التربة يطلق عليها الطبقة المسحوقة mulch لتغطى سطح التربة . وتعمل هذه الطبقة كما كان يعتقد على كسر حدة الماء فى تحركه إلى أعلى بالخاصية الشعرية ، وبذلك يقل فقد الماء بالبخر . ولما كانت الامطار تتلف الطبقة المسحوقة المغبرة وتعيد عمل الخاصية الشعرية فقد اقترح أن يتم زراعة التربة بزراعات ضحلة فى كل مرة يسقط فيها المطر . وترجع نظرية الطبقة المسحوقة "dust mulch" إلى عام 1859 ، وقد نالت حظوة كاجراء لزراعة المحاصيل فى مناطق السهل الكبير Great Plain ذات التربة المجدبة والمعرضة للجفاف حيث لا يزيد ما يسقط عليها من أمطار عن 20 بوصة فى المتوسط كل عام .

وعلى العموم فقد أستبعدت الزراعة فى الحصول على الطبقة المسحوقة . ففى الأراضى الزراعية التى تترك لتجف وحدها ، تتعرض الطبقة السطحية الناعمة ذات الحبيبات الدقيقة إلى الانزلاق بالماء ، كما تتعرض إلى التآكل بشدة بفعل الرياح . وعلاوة على ذلك تتوقف حركة الماء إلى أعلى بفعل الخاصية الشعرية وذلك فى الأرض غير المزروعة إذا ما جف سطحها . وعلى ذلك تتكون طبقة من التربة الجافة لا يتحرك الماء خلالها دون الحاجة لا ستخدام الزراعة فى الحصول عليها وتقوم نباتات المحاصيل وكذلك الحشائش بامتصاص الماء المخزون وانتزاعه من الطبقات الاعمق من التربة والتى لا يتبخر الماء من سطوحها . وعلى ذلك تعتبر عملية مقاومة الحشائش من العمليات الحيوية فى المزارع ذات الأرض الجافة ، سواء بالنسبة للمحصول المنزرع فعلا أو بالنسبة للسنة التالية البور ، التى تترك فيها الحقول مكشوفة فيتراكم الماء فيها ، ويستخدم فى زراعة المحاصيل فى الاعوام التالية .

وفى المناطق التى توجد بها مزارع ذات أرض جافة حيث تحد الرطوبة من إنتاج المحاصيل يمكن اتباع الوسائل الآتية وهى من انجح الوسائل فى هذه الحالات (1) زراعة محاصيل مقاومة للجفاف (2) توسيع المسافة بين النباتات حتى يقل ما تمتصه من كمية الرطوبة الكلية (3) استخدام العمليات الزراعية ، وتشمل استعمال مبيدات الحشائش للقضاء عليها ولكن بالدرجة التى لا يصبح فيها سطح التربة ناعما مغبرا ويظل محتفظا بملمسه الخشن . (4) ترك الأرض بورا نظيفة (بدون محاصيل أو حشائش) كل ثلاث أو أربع سنوات وذلك بقصد تراكم مزيد من الرطوبة بها . وفى هذه الايام يعتز مزارعو غربى ولايتى كانساس Kansas ومونتانا Montana بالاجراء الذى يتخذونه من ترك جزامة stuble النباتات وقطع الطين الكبيرة المتماسكة فوق سطح التربة كغطاء لحماية الحقول من ان تذروها الرياح ، كما يسمح هذا الاجراء لماء المطر أن يتخلل التربة باقصى سرعة ممكنة . فعملية الزراعة بالرغم من اعتبارها من العمليات الكاملة التامة إلا أنها تمارس غالبا فى حالات يكتفى فيها بمقاومة الحشائش بالدرجة التى تحتفظ بها التربة بغطاء ذى ملمس خشن على سطحها .

وبالرغم من أن الطبقات المسحوقة المغبرة لم تعد تستعمل عادة إلا أنه فى حالة زراعة الأرض ـ بمحاصيل خاصة يمكن استخدام الدريس أو القش أو نشارة الخشب أو السماد أو الأوراق أو دبال الحزازيات أو بقايا المحاصيل أو غيرها من المواد العضوية كغطاء لحماية التربة . وتقلل هذه الاغطية من فقد الماء من الطبقات السطحية للتربة وتعمل أيضا على منع نمو الحشائش أو التقليل منها . كما تعمل على حماية سطح التربة من ضربات قطرات المطر التى تسقط عليه وبذلك يحتفظ هذا السطح بخواصه المسامية المناسبة ، كما تزيد من قدرته على امتصاص الماء فالأغطية المكونة من القش تظلل التربة فلا ترتفع درجة حرارتها وتظل رطبة ندية . وهذا له فائدته فى زراعة بعض النباتات فى الصيف وبخاصة نبات البطاطس الايرلندى . والأغطية المكونة من الأوراق الداكنة تمتص ضوء الشمس وتعمل على تدفئة التربة فى الربيع المبكر . أما فى فصل الشتاء حيث يبرد الجو فيحسن استعمال القش الخشن عند

زراعة نباتات الابصال والشليك وكثير من نباتات الزينة دائمة الخضرة ، أو المتساقطة الاوراق . وتعمل مثل هذه الاغطية على حماية النباتات ، فلا يؤثر عليها الاختلاف فى درجات الحرارة المنخفضة خصوصا اذا بلغ هذا التأثير حدا يتجمد فيه الماء ثم يذوب ، ثم يعود الى التجمد ثم الى الذوبان من جديد بالتناوب .

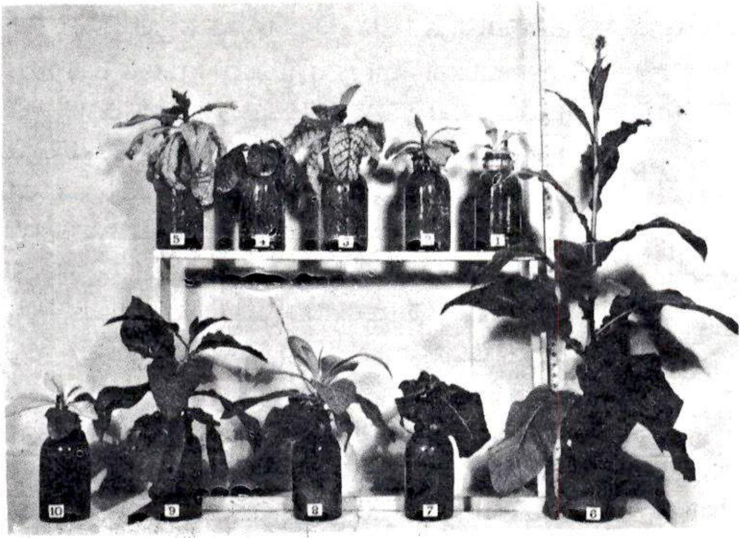
العناصر الاساسية : The Essential Elements

بالرغم من أن كثيراً من النباتات الخضراء تبدو وكأنها محيرة فى تعقيدها ، إلا أن التشابه فى مكوناتها الكيميائية يثير الدهشة . فتصنيع النبات لغذائه واستغلاله لهذا الغذاء لا يتطلب العناصر الكيميائية التى توجد فى كل من الهواء والماء فقط بل يحتاج أيضا الى عناصر أخرى يحصل عليها النبات من التربة . ولما كانت هذه العناصر ضرورية لنمو النبات وكذلك تكاثره فقد أطلق عليها العناصر الاساسية Essential Elements . فحاجة النبات الى هذه العناصر هى قضية مسلم بها فى العمليات الزراعية التى تتم الآن ، ومع ذلك فان ما نعرفه عنها كان نتيجة لبحوث مطلوبة قام بها كل من علماء الفسيولوجيا وكيميائيو التربة ، ولقد تجمعت هذه المعلومات على مدى المائة سنة الاخيرة واصبحت من الانجازات العلمية العظيمة .

وبعد أن ثبت بالبراهين احتياج النبات الى عناصر معدنية من التربة ، اجريت بحوث كثيرة لمعرفة أى من هذه العناصر لاغنى للنبات عنه ، وايها يستغنى عنه النبات بالرغم من وجوده داخل انسجته . ولهذا الغرض استعملت طريقة أساسها إنماء النباتات فى محاليل مائية . Culture Water (شكل 16ـ9) . وفى هذه الطريقة تزرع البادرات فى أوان بحيث تغمر جذورها فى محاليل مخففة معروف مكوناتها الكيميائية . وبدراسة سلوك النبات أثناء نموه فى هذه المزارع التى تشمل جميع العناصر فيما عدا عنصراً واحدا معينا يمكن معرفة أى هذه العناصر لا غنى للنبات عنه ، وايها يستغنى عنه وبهذه الطريقة ايضا يمكن الاستدلال على المظاهر التى تبدو على النبات عند نقص العناصر المختلفة من غذائه .

النظائر : Isotopes

منذ عهد قريب أصبح فى الأمكان إجراء بحوث على العناصر الاساسية باتباع طريقة حديثة وهذه الطريقة تتضمن استعمال النظائر (الباب الرابع) . وقد أصبحت النظائر المشعة لعدد من العناصر الاساسية فى متناول اليد . ومن بين هذه العناصر الاكثر نفعا عناصر الكالسيوم والكربون والفوسفور . كما أنه فى الامكان استعمال نظائر الهيدروجين والحديد والمنجنيز وايضا الخارصين ، كذلك نظائر العناصر

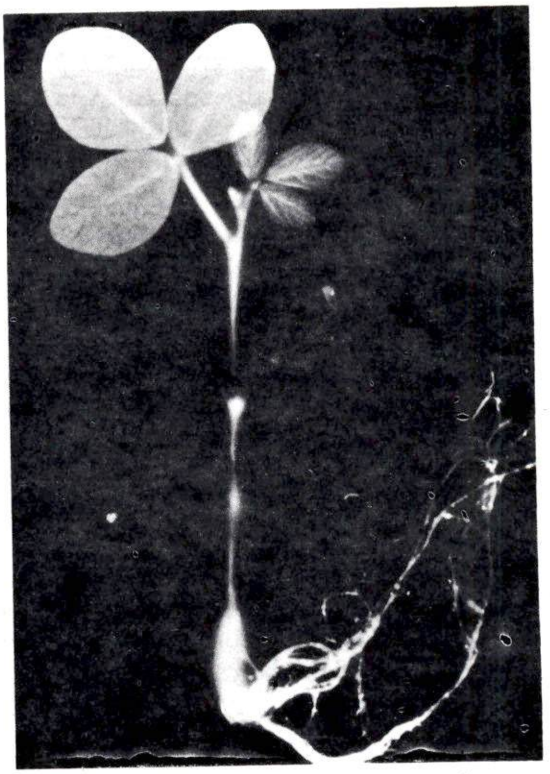


شكل (9ـ16)
نباتات التبغ (tobacco (Nicotiana tabacum
في محاليل بيئية وتوضح تأثير نقص العديد من العناصر.

1 ـ افتقار البيئة للنيتروجين.
2 ـ افتقار البيئة للفوسفور.
3 ـ افتقار البيئة للبوتاسيوم.
4 ـ افتقار البيئة للكالسيوم
5 ـ افتقار البيئة للمغنسيوم
6 ـ افتقار البيئة للبورون
7 ـ افتقار البيئة للكبريت
8 ـ افتقار البيئة للمنغنيز
9 ـ افتقار البيئة للحديد
10 ـ البيئة تحتوى على كل العناصر السابقة

غير الأساسية كالبروم bromine والسترانتيوم strontium التى تستغل فى اغراض خاصة . ولعنصر النيتروجين أربعة نظائر مشعة ، الا أن تحلل هذه العناصر يتم بالسرعة التى لا يمكن الاستفادة منها . ونظير عنصر النتروجين (N 15) ، الذى به نيترون أضافى يعتبر أكثر استقرارا كما أنه يعتبر من النظائر الطبيعية التى يمكن الانتفاع بها . إلا أن استعماله ليس سهلا كبقية النظائر المشعة الأخرى .

فاذا نما أى نبات فى تربة أو رمل أو محاليل مغذية تحتوى على نظائر مشعة ففى الامكان دراسة معدل عملية امتصاصها ومسار انتقالها وتركيزاتها فى الانسجة المختلفة وما تحويه من مركبات (شكل 9ـ17) . فمثلا فى أحدى هذه الدراسات التى أجريت على نبات الطماطم أمكن الكشف بعداد جيجر Geiger Counter عن عنصر الفوسفور المشع فى قمم نبات بلغ طوله 6 أقدام وذلك بعد 40 دقيقة فقط من وضعه فى محلول مغذى يحتوى على هذا العنصر المشع . كما وجد أيضا أنه اذا نقص عنصر الفوسفور من النبات فإنه يسحب من الأوراق وينتقل إلى الثمار النامية التى تنمو على حساب الأعضاء الخضرية .



شكل (9ـ17) الفوسفور المشع (^{32}p) فى نبات فول الصويا soybean (Glycine max) اضيف النظير المشع لمحلول غذائى نبتت فيه الجذور وبعد 18 ساعة تراكم الفوسفور فى الجذور والعقد والاوراق النامية. ومن ثم اخذت صورة اشعاعية ذاتية بضغط النبات على شريحة حساسة للاشعة السينية وتركت لمدة أربعة أيام فى الظلام. تكونت الصورة بالحذف الالكترونى للفوسفور المشع.



شكل (9_18) امتصاص النظير المشع (Rubidium – 86 Rb^{86}) بواسطة جذور الذرة Corn (Zea mays) من التربة.



شكل (9_19) افتقار البطاطس potatoes (Solanum tuberosum) لعنصر الزنك. حصلت النباتات فى خلفية الصورة على ماتحتاجه من الزنك والاسمدة الفوسفورية بينما لم تحصل النباتات فى مقدمة الصورة إلا على الفوسفور وحده فماتت.

ومما يسترعى الانتباه المثل الواضح الذى يبينه الشكل (9_18) ، لدراسة الجذور وعملية امتصاصها للاملاح المعدنية. فقد تم بانتظام خلط عنصر الروبيديوم rubidium'86 بكمية قليلة من التربة ثم وضعت على شكل طبقة رقيقة فوق نافذة من البلاستيك لصندوق خصص لنمو النبات ، وتم ملء بقية الصندوق بتربة عادية . وفى هذا الصندوق زرع نبات الذرة بحيث ينمو مجموعه الجذرى فى مواجهة النافذة ويتخلل التربة التى تحتوى على عنصر الفوسفور المشع . وبعد نمو النبات لعدة ايام وضعت آلة تصوير تحتوى على شريط (فيلم) فى مواجهة النافذة وملاصقة تماما لها ، ثم التقاط صورة سالبة لهذا المجموع الجذرى فى الظلام فالظلال المعتمة فى الصورة المعروفة باسم صورة الاشعاع الذاتى radio autograph هى نتيجة اشعاع عنصر روبيديوم 86 . واسوداد قمم الجذور يشير إلى تراكم هذا النظير المشع ، كما تشير التربة البيضاء اللون القريبة من الجذور الى مناطق الامتصاص منها .

وباستعمال النظائر المشعة أصبح فى الامكان معرفة ما إذا كان عنصر ما قد امتصه النبات من الاسمدة التى اضيفت الى التربة او حصل عليه من كميته الموجودة أصلا فيها . وباستعمال النظائر المشعة واقتفاء أثرها أصبح فى الامكان أيضا دراسة فاعلية الوسائل المختلفة التى تتبع لاضافة الاسمدة للتربة ، كما أمكن معرفة مدى استجابة المحاصيل المختلفة عند اضافة مزيد من الاسمدة .

العناصر الضرورية للنباتات الراقية : The Elements Essential to Higher Plants

يعتبر أى عنصر من العناصر لازما للنبات إذا احتاج اليه فى نموه وتكوين أزهاره وبذوره . ويمكن تقسيم العناصر الأساسية الى ثلاثة مجاميع . وتشمل المجموعة الأولى العناصر التى يحصل عليها النبات من الهواء ومن ماء التربة وهى عناصر الكربون والهيدروجين والاوكسجين . فقد

يحصل الهكتار الواحد المزروع بمحصول على آلاف الارطال من هذه العناصر الوفيرة الطليقة نسبيا . وتشمل المجموعة الثانية عناصر النيتروجين (N) والفوسفور (P) والكبريت (S) والبوتاسيوم (K) والكالسيوم (Ca) والمغنسيوم (Mg) ويحصل النبات على هذه العناصر من التربة بكميات تبلغ 100 الى 200 رطلا للهكتار . وكميات هذه العناصر مازالت كبيرة اذا قورنت بالكميات التى يحتاجها النبات من المجموعة الثالثة ، لذلك يطلق على العناصر التسعة للمجموعتين الاولى والثانية اسم العناصر الغذائية الكبيرة Macronutrients

وتشمل المجموعة الثالثة عناصر الحديد (Fe) والنحاس (Cu) والمغنيز (Mn) والزنك (Zn) (شكل 9 ـ 19) والموليبدينيوم (Mo) والبورون (Bo) والكلور (C1) . وقد عرف الحديد كأحد العناصر الاساسية منذ عام 1847 ، الا أن احتياج النباتات للعناصر الاخرى لم يتحقق الا منذ عام 1922 . ويحتاج النبات لعناصر هذه المجموعة بكميات قليلة جدا ، إلا أنها ضرورية لنموه كضرورة عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم . فمثلا تركيز عنصر البورون الذى يحتاجه النبات لكى ينمو نموا طبيعيا لا يزيد عادة عن جزء من مليون جزء من محلول مائى ، ويكفيه من عنصر الموليبدينيوم جزء من مليار جزء من محلول مائى . ولان النبات لا يلزمه من عناصر المجموعة الثالثة الا كميات ضئيلة جدا لذلك يطلق عليها العناصر الثانوية minor أو الاثرية trace ، او العناصر الغذائية الصغيرة elements Micronutrient . والاصطلاح الاخير هو الاكثر شيوعا . وقد تأخر اكتشاف حاجة النبات الى العناصر الغذائية الصغيرة ، فيما عدا عنصر الحديد ، وذلك بسبب وجود هذه العناصر فى البداية بكميات ضئيلة سواء فى البذور التى منها يبدأ نبات التجربة نموه ، أو كشوائب فى الماء أو فى المواد الكيميائية المستعملة . وباتباع وسائل تجريبية أكثر دقة وتمحصا فإن احتمال إضافة عناصر أخرى الى القائمة مازال قائما .

ويحتاج الحيوان الى معظم العناصر الضرورية للنبات بالاضافة الى عناصر أخرى مثل عناصر الصوديوم واليود والكوبالت . ويحصل الحيوان على العناصر التى يحتاجها إما من الأنسجة النباتية التى يتغذى عليها أو من الحيوانات الأخرى التى تتغذى بدورها على النباتات . ويعتبر ذلك مثلا آخر على مدى اهمية النبات فى حياة الحيوان ومنها الانسان .

العناصر الضرورية والتربة : Essential Elements and the Soil

تعمل الأحماض الناتجة من تحلل المواد العضوية كما تعمل وسائل أخرى ببطء على إذابة المواد غير العضوية الموجودة فى التربة والتى لا تذوب فى الماء . وبالعمليات النشطة التى تقوم بها البكتريا والفطريات فى التربة تتحرر العناصر الاساسية الموجودة فى المواد العضوية غير الحية . وعلى ذلك يمكن اعتبار التربة موضعا لتحولات بطيئة وحيوية بالنسبة للنباتات الخضراء .

ولا توجد العناصر الأساسية بصورة بسيطة فى ماء التربة ، كما لا توجه بصورة بدائية إذا ما اضيفت كأسمدة ولكنها توجد فى التربة على هيئة مركبات أو على الصورة الايونية التى سبق تعريفها فى الفصل الرابع بأنها ذرات أو مجموعة من الذرات تحمل شحنات كهربية موجبة أو سالبة . فاذا أذيب أى ملح من الاملاح كنترات البوتاسيوم مثلا فى ماء التربة فانه ينحل أو يتأين الى أيونين اثنين هما البوتاسيوم (K+) الذى يحمل شحنة موجبة ، والنترات (NO_3^-)، الذى يحمل شحنة سالبة . وفى البداية تنتقل العناصر الاساسية الى النبات على شكل أيونات والسرعة التى تنقل بها معظم الايونات خلال التربة تعتبر بطيئة . وعلى ذلك فمعدل امتصاص العناصر الأساسية وكذلك الماء يتحدد بدرجة كبيرة بمعدل نمو الجذور . ويهيمن على العناصر التى تمتصها الجذور سواء نوعها أو كميتها عدة عوامل مثل معدل نمو الجذور والمكونات الكيميائية للتربة والجذور . واذا وجدت العناصر الاساسية فى التربة بتركيزات عالية فانها غالبا ما تنتقل الى النبات بكميات تزيد عن متطلباته التى بها ينمو نمو طبيعيا ، وقد يؤدى ذلك الى تلف الانسجة أو القضاء على النبات . وتمتص النباتات أيضا العناصر التى لا تحتاجها فى نموها . وعلى وجه العموم تمتص الجذور اى عنصر من العناصر المعدنية التى توجد فى محلول التربة . إلا أن معدل امتصاص أية مادة من المواد يختلف باختلاف نفاذية هذه المادة كما يختلف باختلاف الفرق بين تركيزها فى الجذور وتركيزها فى محلول التربة .

ويتوقف هذا الاختلاف فى التركيز على المعدل الذى به يتحول عنصر معدنى معين فى التربة الى صورة ذائبة أو فى العادة الى صورة أيونية . كما يتوقف أيضا على المعدل الذى به تتحول هذه الصورة الممتصة الى صور اخرى داخل النبات . وعلى سبيل المثال تعتبر هذه التحولات من نوع الاتحاد الكيميائى الذى يعمل على ازالة الايون الممتص من المحلول . ويمكن القول بان النبات يمتص ما يتاح له من ايونات بالقدر الذى يستغله منها . فمثلا من أيون النترات (N03) تبنى الاحماض الامينية والقواعد النيتروجينية ويؤدى ذلك الى استبعاد هذا الايون من عصارة النبات . ومن أيون الفوسفات (H_2PO_4) يبنى الـ ATP أو الـDNA وكذلك الـ R N A كما تبنى مركبات عضوية أخرى على اختلاف انواعها . وتعمل الشحنات السالبة التى

توجد على الاحماض العضوية وغيرها من الجزيئات على ربط ايونات البوتاسيوم (K^+) وقيدها قيدا كهروستاتيكيا . وقد يحدث أن تقيد الايونات غير اللازمة للنبات وتتراكم داخله . فمثلا لا يتوقف نبات القمح عن امتصاصه لمادة السيليكا لانها تستبعد من عصارته وتتراكم فى قشه . كذلك يظل التركيز النشيط لعنصر الزئبق داخل النبات منخفضا لان هذا العنصر السام يستهلك أثناء تفاعله مع البروتوبلازم فلا يتوقف النبات عن امتصاصه وفى النهاية يقضى عليه .

ويمكن تقدير معظم العناصر التى توجد فى النبات ويمتصها من التربة وذلك بحرق النبات وتحليل رماده . وتفقد عناصر النيتروجين والكربون والهيدروجين أثناء عملية الاحتراق . الا أن حوالى 60 عنصرا يمكن الكشف عنها فيما يتخلف من هذه العملية وهو ما قد يبلغ 5 فى المائة أو أكثر من الوزن الجاف . وبعض العناصر التى يعتقد أنها غير لازمة للنبات كعنصر السليكون قد توجد فى رماده بكميات جسيمة . الا أن العناصر الاخرى التى يظن أنها غير لازمة له كعناصر الالومنيوم والزرنيخ والرصاص والباريوم والزئبق والبروم والقصدير والذهب والنيكل وكذلك السيلينيوم Selenium قد لا توجد فى رماده الا بكميات ضئيلة جدا .

والى حد ما يتوقف تركيز العناصر المعدنية التى توجد فى النبات على طبيعة التربة . فالاراضى الجرانيتية granite المنشأ تحتوى عادة على نسبة عالية من عنصر البوتاسيوم . ومع ان الاراضى الجيرية تحتوى بلا شك على عنصر الكالسيوم الذى يتاح للنبات امتصاصه منها ، الا أنه بزيادة هذا العنصر تفتقر هذه الاراضى الى عنصر الحديد وغيره من العناصر الغذائية الصغيرة التى لا غنى للنبات عنها . وعادة يقل ما تحتويه الاراضى الرملية من عنصر البوتاسيوم وأحيانا من العناصر الاخرى . وعلى ذلك فالعناصر الموجودة فى النبات ، سواء بالنسبة لانواعها او كمياتها تختلف لحد ما باختلاف الاراضى التى ينمو فيها النبات ، كما تختلف باختلاف الطقس . وعليه فمن الصعوبة بمكان الاعتماد فقط على عملية تحليل انسجة النبات لمعرفة وتحديد ما يحصل عليه من عناصر تضاف اليه على هيئة سماد .

وغالبا يختلف امتصاص النبات للعناصر غير الضرورية اختلافا كبيرا عن امتصاصه للعناصر الضرورية . فمثلا يوجد فى مناطق معينة من غربى الولايات المتحدة اراضى غنية بعنصر السيلينيوم قد يمتصه النبات بتركيز يسبب تسمما للحيوانات التى تأكله . وتبين من فحص انسجة انواع مختلفة من النباتات ارتفاع نسبة ما تحتويه انسجتها من عناصر معينة ، فى الانواع التى تنمو على رواسب هذه العناصر من نسبتها فى انسجة نفس النوع الذى ينمو فى مناطق تفتقر لهذه الرواسب . وقد استغلت هذه الخاصية وهى خاصية تراكم بعض العناصر فى انواع معينة من النباتات فى الكشف عن الخامات المعدنية واطلق عليها اصطلاح خاص هو التنقيب الجيولوجى الثانى geobota-nical prospecting .

دور العناصر الضرورية Role of Essential Elements

يوجد من الادلة سواء باستعمال المزارع المائية والرملية او من المشاهدات الحقلية ، ما يثبت ان نقص عنصر من العناصر يسبب اعراضا للنقص deficiency symptoms يمكن التعرف عليها فى الاشكال (9ـ16 ، 9ـ19). وقد تبين من هذه التجارب ايضا وجود تأثير متبادل بين العناصر ، كما تبين ايضا ضرورة وجود توازن بين هذه العناصر المغذية وذلك لكى ينمو النبات على نحو مرض .

وعلى الرغم من وفرة ما يوجد من بحوث فى هذا الصدد الا ان تحديد وظيفة كثير من العناصر لم تتضح بعد بصورة كاملة . والادوار التى تقوم بها عناصر الكربون والهيدروجين والاوكسجين جلية واضحة . وتعتبر هذه العناصر الوحدات البنائية للمواد السكرية والسليلوزية والبروتينية وغيرها من المركبات النباتية . وتكون فى المتوسط ما يقرب من 94 فى المائة من الوزن الجاف للنبات ، وعنصر النيتروجين هو المكون الاساسى للاحماض الامينية ، ومنها يتكون البروتين والقواعد النيتروجينية التى توجد فى الاحماض النووية والمركبات التى على شاكلتها مثل مركب الـ ATP (شكل 4ـ3). ويوجد عنصر الفسفور كما ذكر من قبل ، فى الاحماض النووية ويعمل فى نقل الطاقة المستغلة . كما يدخل هذا العنصر فى تركيب الدهنيات (Lipids) التى يعتقد ان لها اهميتها فى تركيب ونفادية البروتوبلاست ويوجد عنصر الفوسفور فى ثلاثة احماض امينية ، كما يقوم بدوره الوظيفى فى انزيمات التنفس الضرورية وغيرها من الانزيمات .

وعليه فانه يمكن ان يقال ان عناصر الكربون والهيدروجين وكذلك الاوكسجين تعتبر من العناصر البنائية الاساسية ، اما عناصر النيتروجين والفوسفور والكبريت فانها تختص بتكوين البروتوبلازم وقيامه بوظائفه ، اما ما تبقى من العناصر

المغذية الكبيرة وهى ثلاثة وتشمل الكالسيوم والمغنسيوم والبوتاسيوم فان ما تقوم به من ادوار يعتبر اقل وضوحا .
فيوجد عنصر الكالسيوم فى الجدار الخلوى وعنصر المغنسيوم فى جزىء الكلوروفيل ، اما عنصر البوتاسيوم فانه لايدخل فى تكوين اى مركب من المركبات النباتية المعروفة حتى الآن . ويبدو ان هذه العناصر الثلاثة التى تقوم بتكوين المركبات القاعدية تختص بصفات عامة تشترك فيها جميعا وهى تثبيت البروتوبلازم وتشكيله ، كما تساعد الانزيمات على القيام بادوارها المختلفة . ولكى تقوم مجموعة الانزيمات التى يتم فصلها من انسجة النبات بعملها على الوجه الاكمل يلزم فى اغلب الاحيان اضافة هذه العناصر وبخاصة عنصر المغنيسيوم . ولكل عنصر من العناصر الضرورية الصغرى وهى عناصر فلزية كالحديد والمنغنيز والنحاس والزنك والموليبدينيوم دوره الذى يختص به فى عمل انزيم معين ويظن ان عنصرى البورون والكلور هما على شاكلة العناصر السابقة . ولم يتبين بالتجربة ما اذا كان عنصر الكوبلت يلزم لحياة النباتات الراقية . الا ان وجوده ولو بتركيز قليل جدا ضرورى لتخليق مركبات فيتامين B_{12} التى تحتاجها الطحالب الخضراء المزرقة وكذلك الاحياء الدقيقة التى توجد فى النباتات البقولية وغير البقولية التى تعيش بصحبتها معيشة تكافلية ويقوم كلاهما بعملية تثبيت النيتروجين (الفصل العاشر) فعملية تثبيت النيتروجين تحتاج بدورها الى وجود فيتامين B_{12} اى انه بدون عنصر الكوبلت لا تتم هذه العملية

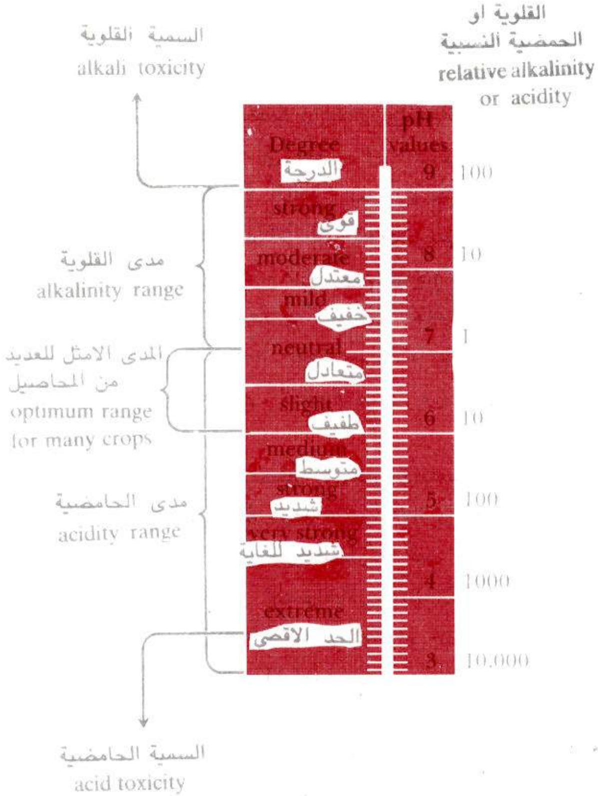
ويمكن صرف النظر عن الآراء القديمة الخاصة بعمل العناصر الضرورية لان هذه الآراء تعتبر مبسطة كل التبسيط . ومن هذه الآراء تعميم القول بأن عنصر النيتروجين يعمل على نمو الاوراق وان عنصر الفوسفور يعمل على تكوين الحبوب وان عنصر البوتاسيوم ذو اهمية خاصة بالنسبة للمحاصيل الجذرية وان عنصر النيتروجين يؤخر عملية النضج ، بينما يعمل عنصر الفوسفور على اسراعهما ، وان عنصر الكالسيوم يعمل على ابطال تأثير الاحماض السامة فكل الخلايا الحية تحتاج الى عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم . فاذا اضيف كل من عنصر النيتروجين والفوسفور الى النبات بكميات متزنة فان كلا منهما يعمل على الاسراع فى نمو ونضج الحبوب والخضروات وغيرها من المحاصيل ، اما اذا لم يضف الى النبات عنصر النيتروجين وبكميات وفيرة تزيد عن حاجته فانه يعمل على تأخير عملية النضج . وذلك لانه يسبب نقصا نسبيا فى عنصر الفوسفور . ان تركيز الاحماض ، سواء ما يوجد منها داخل انسجة النبات او فى التربة والتى يمكن معادلتها بالتجيير نادرا ما تسبب تسمما للنبات . وعملية اضافة الجير الى الاراضى الحامضية ، هى عملية معقدة فى تأثيرها وليست كما سنبينه فيما بعد ، مجرد عملية تعادل للاحماض الموجودة بها .

وحيث ان لكل عنصر من العناصر الضرورية دورا معينا يقوم به فى النبات فقد يظن ان نقص نوع معين منها يؤدى الى ظهور نوع معين من الاعراض خاص به . ولقد بذلت عدة محاولات لتحقيق هذا الظن دون ان يظفر بنجاح محقق . فقد يهبط معدل نمو النبات استجابة لنقص اى عنصر من عناصره الغذائية ، وعليه فلا قيمة لتشخيص هذه الاستجابة . فظهور الاوراق باللونين الاحمر والقرمزى دليل على نقص الفوسفور ولكن فى بعض النباتات وليست كلها . والنباتات التى تحمل فى الظروف الطبيعية اوراقا خضراء داكنة تتحول الى اوراق خضراء مصفرة اذا ما نقص منها عنصر النيتروجين ، الا ان ظروفا اخرى قد تؤدى الى ظهور نفس الاعراض . والنقص فى عنصر البوتاسيوم قد يؤدى الى ظهور مناطق صفراء على الاوراق تموت بعدها وتصبح بنية اللون . ومن اعراض نقص المغنسيوم ظهور الشحوب chlorosis او الاصفرار على الاوراق بشكل غير منتظم . وبصفة عامة تظل العروق خضراء حتى يبلغ الضرر نهايته الحتمية . الا ان غياب الحديد او المنغنيز او وجود المنغنيز بكميات تزيد عن الحاجة يسبب اعراضا مماثلة وهو عكس ما نتوقعه . فالاوراق التى ينقصها عنصر الحديد لايتكون بها صبغة الكلوروفيل ويظهر عليها اعراض الشحوب . والاعتقاد السائد هو ان الحديد يقوم بدور معين فى تكوين الكلوروفيل . ومع ذلك فظاهرة الشحوب يمكن تشخيصها ايضا على انها مجرد مرض يظهر نتيجة عجز فى عمليات التنفس او العمليات الانزيمية الاخرى التى تعتمد على وجود عنصر الحديد كاحد مكوناتها . وقد توحى اعراض النقص للمشاهد المدرب الذى الف ولاحظ نمو نوع معين من النباتات فى ظروف معينة ، توحى هذه الاعراض ببعض التكهنات والاستنتاجات ولكن لاتوجد لذلك قواعد مبسطة يمكن اتباعها .

حموضة التربة وتجييرها : Soil Acidity and Liming

تصنف نسبة مئوية كبيرة من الاراضى التى تقع فى المناطق الاكثر رطوبة على سطح الارض ضمن الاراضى الحامضية ، وهذا لايعنى ان مذاقها من الحموضة قد بلغ حدا يكفى لتذوق طعمها « الحريف » . ولكن يعنى انها اكثر حموضة من الماء . ويتأين عدد يسير جدا من جزيئات الماء الى ايونات الهيدروجين (H^+) الحامضية وعدد مساو له من ايونات الهيدروكسيل (OH) القاعدية . ويعتبر الماء متعادلا نظرا لتساوى ما به من ايونات الهيدروجين وايونات الهيدروكسيل . ويتأين الماء بدرجة يسيرة جدا بحيث انه من بين ثلاثة ملايين غالون من الماء النقى لايوجد الا حوالى غرام واحد من ايونات الهيدروجين وباستعمال التدريج اللوغاريتى للرقم الهيدروجينى الذى يعبر عن الحموضة ، يبلغ الرقم الهيدرجينى للماء pH 7 اى انه متعادل . ويعنى هذا التعبير وهو الرقم الهيدروجينى pH 7 ان الماء يحتوى على 10^{-7} غراما من ايون الهيدروجين فى كل لتر ، اى بنسبة جزء واحد من كاتيونات (ايونات موجبة) الهيدروجين (H^+) فى كل مليون جزء من الماء . وتحتوى المحاليل او الاراضى القلوية اذا اتخذ الماء كمقياس ، على قلة من ايونات الهيدروجين وكثرة من ايونات الهيدروكسيل . اما الاراضى الحامضية فانها تحتوى على قلة من ايونات الهيدروكسيل وكثرة من ايونات الهيدروجين . وحيث ان وحدات الرقم الهيدروجينى هى وحدات لوغارتيمية سالبة ، فان الرقم الهيدروجيى pH 6 يعتبر اكثر حموضة من الماء بمقدار 10 مرات كذلك الرقم الهيدروجينى pH 5 يعتبر اكثر حموضة من الماء بمقدار 100 مرة ، وهكذا كما فى الشكل (9ـ20).

وفى الاصل يتم تكوين الاراضى الحامضية ، اما بفعل ماء المطر الذى يسقط عليها فيتخللها ويغسلها وبذلك يزيل ما بها من عناصر قاعدية ، خصوصا عنصر الكالسيوم ، أو من اثر الزراعة الجائرة . ويضاف الجير عادة الى الاراضى الحامضية على شكل مسحوق ناعم من الحجر الجيرى (كربونات الكالسيوم ، $CaCO_3$). ويعتبر تأثير الجير على الاراضى الحامضية تأثيرا معقدا . ففى التربة الفقيرة فى عنصر الكالسيوم الذى يتاح للنبات امتصاصه ، او فى حالة زراعة محصول يتميز بحساسيته لنقص هذا العنصر ، كنبات



شكل (9ـ20) نسبة تركيز ايونات الهيدروجين (pH) وحموضة التربة او قلويتها. لاحظ ان الحموضة او القلوية الحقيقية تتضاعف عشر مرات (اى تصبح 1000٪ لكل وحدة واحدة من الـ pH. لاحظ ايضا ان نقطة السمية بالاحماض هى اقل من مستوى الحموضة القوية للتربة.

الفول السودانى مثلا ، فان الجير يعتبر سمادا جيريا . وقد تؤثر عملية التجيير تأثيرا هاما على ما يتاح للنبات امتصاصه من عدد من العناصر الاخرى ، او بسبب ما تسببه هذه العناصر من تسمم للنبات . وقد يعمل تجيير التربة للدرجة التى تجعلها متعادلة او لدرجة قريبة منها ، على زيادة ملحوظة لما يمتص منها من عنصر الفوسفور . وفى استراليا ونيوزيلاندا يبدو ان التأثير الرئيسى لاضافة الجير لعدد من الاراضى هو زيادة ما يتاح امتصاصه منها من عنصر المولبيدينوم . فاذا ما اضيف الى هذه الاراضى مقدار من هذا العنصر بمعدل بضع اوقيات للهكتار وبصورة يتمكن النبات

من امتصاصها ، كل ما يلزم اضافته من الجير . وعلى العكس من عنصرى الفوسفور والموليبدينوم يعمل الجير على خفض ذوبان عناصر الحديد والمنغنيز والنحاس والزنك ، وقد يؤدى التجيير الجائر الى نقص فى امداد النباتات بهذه العناصر . ويحدث هذا النقص بصورة طبيعية فى اراضى المناطق الجافة وشبه الجافة التى تحتوى على نسبة عالية من الجير . وفضلا عن ذلك ، فان وجود جميع هذه العناصر فى التربة بكميات زائدة خصوصا عنصر المنغنيز يعتبر ساما . ويقلل الجير من اثر هذا التسمم ، كما يقلل من التسمم الناتج عن وجود عنصر الالمنيوم وغيره من العناصر بحالة ذائبة .

واخيرا تؤدى عملية تجيير الاراضى الحامضية الى تنشيط نمو بكتريا التربة وبالتالى الحد من نمو فطرياتها ، وقد يؤدى ذلك الى الحد من الامراض الفطرية التى تصيب بادرات الكرنب كمرض الجذر الصولجانى Clubroot او مرض الذبول Damping - off الذى يصيب بادرات البقوليات وغيرها من البادرات او وقايتها منها . ومع ذلك ، فقد تؤدى عملية التجيير الى اصابة النباتات اصابات شديدة بالامراض البكتيرية . فمزارعو جزيرة لونج ايلاند Long Island يلجأون الى تجيير التربة لمنع اصابة نبات الكرنب بمرض الجذر الصولجانى . ومع ذلك فهم فى اشد الحاجة الى الاراضى الحامضية لزراعة البطاطس الايرلندية Irish potato ولكنهم يتجنبون اصابتها بكائنات تشبب البكتريا وتسبب مرض جرب البطاطس Potato scab وواضح انه لايمكن زراعة المحصولين بصورة ناجحة فى نفس الدورة الزراعية . وتعتبر عملية التجيير من العمليات الهامة خصوصا عند زراعة المحاصيل البقولية مثل نبات البرسيم ، فهذه النباتات تحتاج الى كميات كبيرة من عنصرى الكالسيوم والفوسفور . وفضلا عن ذلك فان هذه المحاصيل تعتبر عادة حساسة بالنسبة لعنصرى المنغنيز والالمنيوم الموجودة فى التربة بصورة ذائبة . وقد تصاب هذه المحاصيل اصابات شديدة بالامراض الفطرية فى اطوار الانبات الاولى ، لذلك فان نموها بصورة طبيعية يتوقف على بكتريا تثبيت النيتروجين (الفصل العاشر) وهى بدورها حساسة بالنسبة للحموضة . وتؤدى عملية التجيير واضافة المواد العضوية الى تحسين الخواص الطبيعية للاراضى الثقيلة الحامضية وذلك بالعمل على تشجيع نمو البكتريا التى تساهم مساهمة فعالة فى تكتل حبيبات التربة وبالتالى تحسين تركيبها وقوامها .

وعلى ذلك فعملية تجيير الاراضى الحامضية لها آثارها العديدة سواء بطريقة مباشرة او غير مباشرة . فتأثيرها ليس مقصورا على كونها سمادا يمد النبات بمزيد من هذا العنصر الاساسى وهو الكالسيوم ولكنها تعمل على تقويم التربة فتؤدى الى تغيرات كيميائية وبيولوجية وتركيبية بها . وبعض هذه التغيرات يعمل على زيادة الانتاج كما ان بعضها يؤدى الى نقصه ، ويتوقف ذلك كله على الظروف وعليه فانه من الاهمية بمكان اجراء عملية التجيير بحذر شديد وتفادى اضافة الجير بكميات زائدة .

الاسمدة والتربة : Fertilizers and the Soil

ان استغلال الانسان للاسمدة (المخصبات) فى الزراعة يعتبر قديما قدم ممارسته للزراعة نفسها . فبالمشاهدة عرف المزارعون الاوائل ان استعمال روث الحيوانات يؤدى الى انتاج محصول اكبر وافضل . ثم لجأوا الى استغلال مواد اخرى بالاضافة الى روث الحيوانات ، مثل الجير والطين الخزفى والاسماك ورماد الخشب وكذلك الاعشاب البحرية . وبعد ان ادرك الانسان اهمية العناصر الضرورية وفائدتها للنبات اتضح له مدى انتفاع المحاصيل باضافة هذه المواد .

وكان الاغريق والرومان يعتقدون ان النبات يحصل على ما يلزمه من مواد عضوية من التربة ، وهذا هو السبب فى تركيزهم على اهمية الاسمدة العضوية له . وبالرغم من بحوث انجنهوز Ingen - Housz وغيره من العلماء فى أواخر اعوام 1700 (الفصل الخامس) ظل هذا الاعتقاد سائدا حتى منتصف القرن التاسع عشر . ويعزى الى تعاليم جوستوس ليبج Justus Liebig ، وهو عالم المانى يعتبر بحق واضع اسس علم الكيمياء الزراعية agricultural chemistry ، الفضل فى تعميم معرفتنا للحقيقة القائلة بأن النبات يحصل على مايلزمه من عنصر الكربون من الهواء عن طريق عملية البناء الضوئى ، وانه لايحصل من التربة الا على مايلزمه من املاح معدنية وماء . وقد استنبط ليبج وسجل باسمه سمادا



شكل (9ـ21) اضافة الامونيا اللامائية (NH_3) لنبات الذرة يدفع الغاز فى داخل التربة بضغط عال فيتغلغل فيها الى عمق 30 ـ 45سم

غير عضوى الا انه اتضح فيما بعد ، لسوء الحظ ، ان هذا السماد غير قابل للذوبان وبالتالى لا يستفيد منه النبات ، ومع ذلك فيعزى الى اعماله بالاضافة الى بحوث العالم لاوز Lawes فى انجلترا ، وهو الذى انشأ فى عام 1843 محطة التجارب فى روثامستد Rothamsted Station Exprimental لدراسة مدى الاستفادة من الاسمدة ، يعزى اليهما الفضل فى استغلال الاسمدة الكيميائية وتعميمها تدريجيا ، هذا الاستغلال الذى يعتبر بحق العامل الرئيسى الذى ترتكز عليه الزراعات الحديثة .

ولايهدف استعمال الاسمدة بصفة رئيسية الى تزويد المحاصيل بما يلزمها من معادن فحسب بل الى زيادة كمية مايتاح للنبات استغلاله منها وبخاصة فى الاراضى التى يشتد فيها نقص هذه العناصر . وعلى وجه التقريب تستجيب كل اراضى المعمورة للاسمدة النيتروجينية على شرط ان يوجد الماء بكميات تكفى لمجابهة ودعم الزيادة فى نمو النبات . وتنتفع معظم الاراضى باضافة عنصر الفوسفور اليها خصوصا بعد ان يتم بناء ماتحتويه من نيتروجين فى انسجتها . وكثير من الاراضى تحتاج الى اضافة عنصر البوتاسيوم ، وتنتفع نسبة مئوية كبيرة من الاراضى الواقعة فى المناطق الرطبة باضافة عنصر الكالسيوم على هيئة الجير . فالجير ، كما سبق بيانه ، له اثره الهام على الاراضى سواء من الناحية الكيميائية او على محتواها من الاحياء الدقيقة ، فضلا عن امدادها بهذا العنصر الاساسى . ومن بين العناصر التسعة الاخرى التى نعرف ان النبات يحصل عليها من التربة عنصر المغنسيوم ، الذى يضاف الى بعض الاراضى الرملية الواقعة على ساحل الاطلنطى للانتفاع به ، كما يستغل عنصر الكبريت فى مناطق معينة على الساحل الشمالى الغربى للمحيط الهادى ، وغالبا ماتفتقر الاراضى العضوية او الدبالية الى مايتاح للنبات

الكمية القليلة الممتصة منه لكى يحتفظ النبات بنموه الطبيعى ، وتوجد امثلة اخرى على اضافة عناصر السماد الى النبات بطريقة مباشرة ، فأوراق الانواع المختلفة من نبات الازاليا azalea والبلوط الصنوبرى ترش بمحاليل تحتوى على عنصر الحديد ، وترش الاوراق فى اشجار الموالح citrus والتونج tung ، والبيكان pecan بكبريتات الزنك ، وترش اشجار البرتقال باملاح النحاس والمنغنيز كما ترش اشجار الافوكادو بمحلول خليط من الزنك والنحاس .

وغالبا ماتستعمل طريقة الرش بالمحاليل التى تحتوى على العناصر الضرورية فى حالات اضطرارية وذلك لمعالجة الاعراض الناشئة عن نقص العناصر المغذية الصغرى ، او غيرها التى يحتاجها النبات بكميات قليلة . وفضلا عن ذلك ، فقد تبين حديثا ان اوراق بعض النباتات خصوصا اشجار التفاح تمتص النيتروجين على هيئة يوريا ، اذا ماتم رش هذه الاشجار بهذا المركب . ويرش الآن هذا المركب فى بعض بساتين التفاح . وبالرغم من الاقبال المتزايد على عملية رش الاوراق ، الا انه من المحتمل ان تظل طريقة اضافة الاسمدة الى التربة هى الطريقة المفضلة للتسميد .

اختبار التربة Soil Testing

اجريت لعدة سنوات فحوص بسيطة تهدف الى معرفة كمية مايحتاجه النبات من العناصر التى تضاف الى التربة على هيئة سماد ، الا ان ذلك لم يؤد الا الى نجاح جزئى . ويمكن تعريف التربة الخصبة بأنها هى التى تمد النبات بالعناصر الضرورية سواء بالنسبة لكمياتها او فى اوقات احتياجه اليها . وما تحتويه التربة من عناصر يمكن معرفته بالتحاليل الكيميائية الا ان الكميات التى يتاح للنبات امتصاصها من هذه العناصر لايمكن تقديرها الا باجراء التجارب على النبات نفسه . وبالرغم من هذه الصعوبة فقد تقدمت البحوث وتطورت بحيث امكن اجراء اختبارات كيميائية خاصة لمعرفة احتياجات تربة معينة لسماد خاص . ولا تشير هذه الاختبارات للمقدار الكلى للمغذيات الموجودة فى التربة ، بقدر ما تعين مقدار المغذيات المتاحة available nutrients التى يتيسر للنبات امتصاصه منها . ففى احد هذه الاختبارات تجرى التجارب على التربة ذاتها وفى اختبار آخر يتم بعناية تامة تقدير المحتوى المعدنى للنباتات التى تنمو فى هذه التربة .

ولمعرفة مقدار المغذيات المتاحة فى تربة معينة تجرى تجارب عليها ، وذلك بالبدء فى تقدير مدى استجابة النباتات النامية فيها عند اضافة السماد اليها . وبعد معرفة مدى استجابة النبات لعنصر الفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم يجرى كيميائيو الاراضى طرقا تحليلية معينة يقدرون بها مدى مايتاح للنبات استغلاله من هذه العناصر ، كل عنصر على حدة ، ولابد ان تتفق نتائج هذه الطرق التحليلية مع مقدار النمو الذى يصل اليه النبات اذا زرع فى عينة من نفس التربة . او بمعنى آخر يتم تقنين هذه الطرق على اساس استجابة النبات .

وبالمثل تقنن الاختبارات التى تجرى على النباتات وتعرف احيانا باسم تحليل الورقة leaf analysis وتقارن نتائجها على اساس استجابة النبات لتربة معينة . فإذا ما وجد ان النبات يستجيب لسماد نيتروجينى فى تربة معينة ، يضاف هذا السماد بكميات متزايدة الى قطع من الارض صغيرة . ثم يتم اختيار عدد من الاوراق ، وتقدر الكمية الكلية التى توجد بها من نيتروجين ثم تقارن هذه الكمية بمحصول القطع التى اضيفت اليها هذه الكميات المتزايدة من السماد . ومن الطبيعى ان نجد انه فى حالة استجابة النبات للسماد اذا ما اضيف الى التربة بنسبة مئوية قليلة فإن ذلك يعنى احتياج النبات لاضافة السماد النيتروجينى ، اما اذا لم يستجب النبات الا الى نسبة عظيمة من السماد ، فإن ذلك يعنى ان النبات ليس فى حاجة اليه .

وفى محطات التجارب فى الولايات المتحدة يجرى الباحثون هذه التجارب ويعرفون بدقة كبيرة مناطقهم ومدى استجابتها للسماد المضاف . فهم يختبرون الاراضى وينصحون المزارعين باتباع برنامج معين للتسميد لاستعماله على نطاق واسع للانتاج ويساوى آلاف الدولارات . اما بالنسبة لمزارعى الحدائق المنزلية فالمسألة تختلف . فبوسعهم كالمعتاد الحصول على السماد من البائعين المحليين الذين يوصون به كما يمدون الحدائق بما يلزمها من خليط السماد الذى يناسب الظروف المحلية ، كما ينصحون بالمعدل الذى تضاف به هذه الاسمدة . والسماد المستعمل هو فى الغالب خليط كامل من N – P – K يضاف اليه عناصر اخرى حسب

امتصاصه من عنصر النحاس ، واحيانا تفتقر الى عنصرى المنغنيز والزنك (شكل 19ـ9). ولعنصر المولييدنيوم اهميته فى مناطق وفيرة من استراليا ونيوزيليندا ، كما يستغل عنصر البورون فى اراضى الولايات المتحدة الشرقية التى تم تجييرها بشدة وذلك لانتاج محصول البرسيم الحجازى ، وقد لايتاح للنبات امتصاص عنصر الحديد من الاراضى الجيرية وغيرها من الاراضى الاخرى ، فإذا ماأضيفت املاح الحديد كأسمدة الى هذه الاراضى فإن هذه الاملاح تتحول بسرعة الى صور واشكال يستحيل على النبات ان يمتصها . وللحصول على بعض النتائج المفيدة ترش الاوراق باملاح الحديد . والعمليات الزراعية الجيدة خصوصا استعمال الاسمدة النيتروجينية تزيد من قدرة النبات على امتصاص عنصر الحديد واستغلاله .

وتضاف الاسمدة على شكل مركبات كيميائية . فعنصر النتيروجين مثلا ، يضاف على شكل كبريتات الامونيوم او نترات الامونيوم . او على شكل غاز الامونيا ، NH_3 (شكل 9ـ21). وقد يستعمل كل من ملح كبريتات الامونيوم او نترات الامونيوم على حدة او كمكون من مكونات السماد . المختلط mixed Fertilizer وغالبا مايحتوى هذا الخليط على مزيج من عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم بنسب مختلفة ، يضاف اليه كمية من الجير تكفى لازالة المفعول الحامضى لهذا الخليط وفى ظروف خاصة يضاف الى هذا الخليط عناصر اخرى . ويتميز كل خليط بذكر مرتبته التى يعبر عنها كنسبة مئوية لمكوناته من عنصر النيتروجين (N) وحامض الفوسفوريك (P_2O_5)، والبوتاس (K_2O)، على وجه الترتيب . فالسماد المعروف باسم 4ـ12ـ4 يحتوى على 4 فى المائة بالوزن نيتروجين ، 12 فى المائة بالوزن حامض الفوسفوريك ، 4 فى المائة بالوزن بوتاس ، ويباع فى الاسواق السماد ذو المرتبة « 0ـ16ـ8 » وذلك لامداد المحاصيل البقولية بما يلزمها من عنصرى الفوسفور والبوتاسيوم ، حيث ان هذه المحاصيل تعمل على تثبيت النيتروجين ، ولذلك لاتحتاج الى اضافة هذا العنصر بكمية كثيرة (الفصل العاشر). وقد يضاف السماد 10ـ20ـ0 لمحصول الذرة (السبول) اذا زرع فى تربة غنية بطبيعتها بعنصر البوتاسيوم وتيسر لهذا النبات امتصاص هذا العنصر منها . وقد اضيف الى الاسمدة التى استغلت فى الماضى نسبة مئوية قليلة نسبيا من العناصر المغذية ، حتى يحتفظ سعر الطن منها بمعدله الرخيص ، وغالبا مايخفف تركيز الاملاح للاسمدة باضافة حشو من التربة اليها . وقد ادى الارتفاع فى اسعار الشحن وتسميد الاراضى الزراعية بوفرة الى الاقبال على الاسمدة ذات المرتبة العالية . بالمزارع الذى تعود على اضافة 500 رطل من السماد 4ـ8ـ6 ويرغب فى مضاعفة هذا المعدل يجد ان 500 رطل من السماد 8ـ16ـ12 ارخص من 1000 رطل من السماد 4ـ8ـ6 . واقصى مايمكن الحصول عليه من الاسمدة المركزة على سبيل المثال هو غاز الامونيا (NH_3) ومرتبته 82ـ0ـ0 ، ويستغل كمصدر لعنصر النيتروجين ، وينقل هذا الغاز فى صهاريج تحت ضغط عال ، ويمكن اذابته فى مجرى مياه الرى ، وبذلك يضاف الماء وعنصر النيتروجين معا الى التربة ، او يحقن على بعد 12ـ8 بوصة من سطح التربة المبللة (شكل 9ـ21) حيث يتم امتزازها adsorption به وتحتفظ به التربة حتى يقوم النبات بامتصاصه منها .

ويضاف السماد الى التربة اما ببعثرته فوق سطحها او وضعه تحت البذور او القائه على شكل شرائط متوازية فى محاذاة الخطوط التى توضع بها البذور او النباتات ومن الاهمية بمكان اضافة هذه الاسمدة الكيميائية بحذر شديد وذلك لتفادى الاضرار التى تنشأ عنها اما لما تسببه من تسمم او لما تسببه من زيادة فى تركيز المادة المذابة فى محلول التربة (شكل 4ـ10) . واستعمال الاسمدة التجارية بطريقة صحيحة يزيد من انتاج المحاصيل بدرجة كبيرة . ففى احدى التجارب التى اجريت فى ولاية الينوى Illinois زرع نبات الذرة على قطعة ارض لمدة 70 سنة متواصلة فتدهور المحصول وانخفض انتاج الهكتار الواحد الى 23 بوشل . وبالاسمدة وحدها ارتفع الانتاج حتى صار ستة اضعاف الانتاج الاول تقريبا . وعادة ماتضاف الاسمدة الى التربة لكى تمتصها الجذور ، الا انه احيانا تضاف العناصر الاساسية مباشرة الى الاوراق عن طريق رشها بمحلول من هذه العناصر . ومن افضل واقدم ماعرف عن هذه الطريقة المباشرة وتنفيذها بطريقة عملية ماهو متبع فى مناطق معينة من جزر هاواى حيث توجد مزارع الاناناس وحيث يتوفر عنصر الحديد فى التربة الا ان هذا النبات لايتيسر له امتصاص هذا العنصر منها . وفى هذه المناطق يتم رش اوراق ـ نبات الاناناس فى فترات متقاربة بمحلول مخفف من كبريتات الحديد . وتكفى

مايناسب المنطقة ويضاف هذا الخليط بمعدل وافر ولكن لايتعدى الجانب المأمون . فمزارعو الحدائق لايهتمون بتوفير نقود قليلة قدر اهتمامهم بالحصول على نتائج مثيرة .

الاسمدة وتزويد العالم بالغذاء : Fertilizers and World's Food Supply

تلعب الاسمدة دورا هاما فى المحاولات التى تبذل لمجابهة الزيادة المضطردة فى عدد سكان العالم والتى لم تتوقف حتى الآن . وقد قيل الكثير عن توفير الغذاء لملايين البشر التى تولد وتضاف سنويا الى سكان العالم ، الا ان ما نحب ان نضيفه هنا هو ان الزيادة فى انتاج الطعام لاتتوقف على انتاج محاصيل وفيرة فحسب بل على تزويد هذه المحاصيل بما يلزمها من اسمدة وماء . ويعزى جانب كبير من سوء التغذية فى عالم اليوم الى عدم امداد الاراضى خصوصا فى البلاد النامية ، بما يلزمها من اسمدة ومخصبات . وهذا فى رأينا اهم من الامور الاخرى . وقد تم اليوم بدرجة كبيرة استصلاح معظم الاراضى القابلة للزراعة وتعويض ماكان موجودا فيها من عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم وفقدته بسهولة ويسر . فمستقبل المحاصيل هو فى الحرص على سد النقص فى تزويدها بالاسمدة التى يتم تصنيعها بطرق كيميائية . فحياة ملايين البشر تتوقف على سد هذا النقص . وتنقل الاطعمة بمكوناتها من العناصر الاساسية الى المراكز الكبيرة والمدن التى يتجمع فيها السكان حيث تتحول فى نهاية المطاف الى نفايات Sewage وتفقد فى مجارى المياه والبحيرات ثم تحمل فى النهاية الى المحيطات . وفى الامكان بمشاريع محلية اخرى صناعية اعادة جزء من عنصرى النيتروجين والفوسفور . وقد اقترحت عدة وسائل لذلك والامل معقود على تلك الوسائل التى تعتمد على معاملة النفايات معاملة كيميائية وذلك باستخدام عمليتى الترسيب والتخثر Precipitation and coagulation

ويبدو انه يوجد مايكفى لتزويد صناعات الاسمدة فى المستقبل القريب بالمواد الخام وربما لعدة قرون قادمة ومن المتوقع حدوث نقص فى الغذاء قبل نضوب المواد الخام اللازمة لصناعة الاسمدة ويعتبر عنصر النيتروجين من العناصر الضرورية التى يتم استهلاكها بوفرة زائدة ويمكن الحصول عليه بخلط نيتروجين الهواء الجوى بغاز الهيدروجين وذلك تحت ضغط ودرجة حرارة عاليتين ، فيتحدان معا ويكونان غاز الأمونيا ، اما المخزون الضخم من الصخور الفوسفاتية وأملاح البوتاسيوم والحجر الجيرى فكلها فى متناول اليد . وبالرغم من توفر المواد الخام والتوسع فى صناعة الأسمدة ، إلا أن ما تفقده مساحات شاسعة من الأراضى خصوصا فى البلاد النامية من العناصر الاساسية ، بسبب التوسع فى زراعتها بالمحاصيل ، يفوق كثيرا ما يضاف إليها على هيئة سماد . ويزداد الوضع خطورة فى هذه البلاد بسبب الزيادة المضطردة فى عدد السكان ، وتؤدى الزيادة السكانية إلى زيادة الطلب على الأسمدة سواء فى البلاد النامية أو البلاد المتقدمة . وهذا يحتاج إلى مزيد من الطاقة التى تبذل لتوفير الصناعات الكيميائية وهذه بدورها تخلق مشاكل إضافية بسبب عملية النقل . والزيادة المضطردة فى استهلاك الأسمدة قد تؤدى أيضا إلى زيادة مضطردة فى تلوث مصادر المياه ، فتتسرب الأملاح غير العضوية ، خصوصا أملاح النيتروجين والفوسفور إلى الأنهار والبحيرات والمناطق الساحلية التى يصبح ماؤها مرتعا خصبا لنمو الطحالب بسرعة غزارة الاحياء المائية (eutrohication فصل 19) .

الفلاحة العضوية Organic Farming فى الثلاثينات بدأ بعض المزارعين والبستانيين على نطاق دولى فى ترويج ما يعتقدون بصحته وهو أن تسميد الأرض بالأسمدة المعدنية يستنزفها . كما أشاعوا بأن ما تنتجه من نباتات هو وبال على صحة الانسان . والغريب أن مثل هذا الاعتراض قد أثير من قبل فى عهد ليبج ولاوس Liebig and Lawes أى منذ مائة عام ، حينما اقترحا لأول مرة استعمال الأسمدة غير العضوية ، وحين بدأ لاوس تجاربه عليها . فمنذ أكثر من مائة عام لم تحصل بعض الحقول فى محطة تجارب روثامستد إلا على سماد غير عضوى . ومع ذلك فما زالت هذه الحقول على درجة عالية من الخصوبة وانتاجها وفير والقيمة الغذائية لمحاصيلها عالية

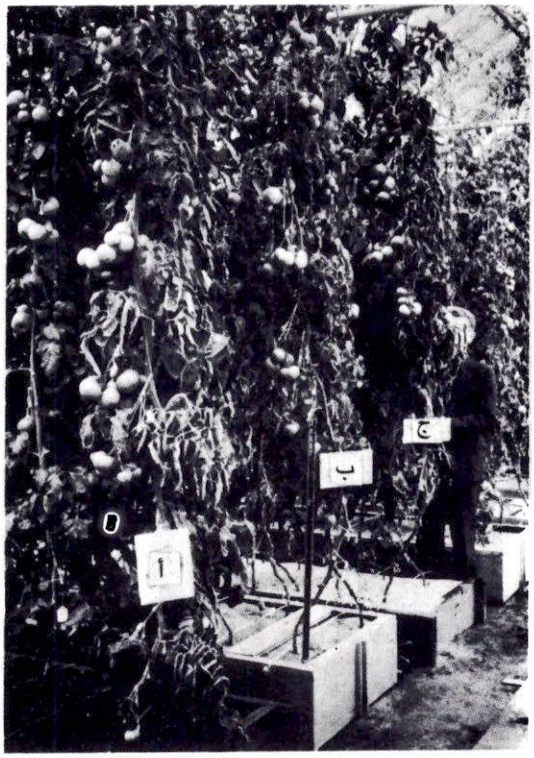
والمؤيدون للفلاحة العضوية يجيدون استعمال السماد الحيوانى وبقايا المحاصيل ويستغنون بها عن الأسمدة التجارية . وقد سبق إيضاح أهمية الاحتفاظ بمكونات التربة

من المـواد العضـويـة ، وفى الفصـل التـالى مـزيـد من هـذا الايضاح . فكومة روث الحيوانات التى تخلط بها أوراق النبات وقشـه وعيدانـه وبقايـاه الأخرى مـع بعض الأسمدة الغنيـة بالنيتروجين ويحتفظ بها رطبـة مكتنزة لبعض الـوقت حتى يتم تحلل مابهـا من مواد نبـاتية ، هى بمثـابة اضـافة قيمـة لاية حديقة .

ومع ذلك فقد أغفل المزارعون نقطتين هامتين : (1) الاولى أنه من الطبيعى ألا تمد هذه المواد العضوية النبات بما يكفيـه من عناصر هو أشد فى الحاجة اليها ، مثـل عنصرى النيتروجـين والفوسفور . فالمزارعون والبستانيـون الذين يـأملون فى أقصى عائد من الانتاج هم الذين يضيفون إلى هذه المـواد العضويـة مـا يلزمهـا من عناصر عضـوية . (2) الثـانية أنـه فى حالـة الفلاحة العضوية التى فيها تضاف المواد الى التربة على هيئـة مواد عضوية ، تتغير هذه المواد بفعل بكتريا التربـة (الفصل العاشر) وتصبح على هيئة ايونات المواد كالامونيا والفـوسفات والبوتاسيوم وهى تشابـه المواد غـير العضويـة التى يمتصها النبـات مباشرة من التـربة . ولا يـوجـد أى سبب يـدعـو إلى الاعتقاد بأن الصورة التى تضاف بهـا العناصر الضروريـة إلى التربة لها تأثير يذكر على حياة النبات الـذى ينمو نمـوا طبيعيا مناسبا أو عـلى تقبله لامتصـاص هذه العنـاصر أو التقليل من قيمته الغذائيـة . فالقيمـة الغذائيـة هى خاصيـة من خواص النبات ولا علاقة لها بالوسط الذى ينمو به .

المحـاليل المـائية Hydroponics تستعمـل هـذه الطـريقـة لأغراض البحث العلمى فى المعامـل ، وهى طريقـة تقنية هـامة فيها توضع جذور النباتات النامية فى محلول مائى يحتـوى على أملاح . ومنذ بضـع سنوات أدخلت عـدة تحسينات عـلى هذه الطريقة بحيث يمكن استغلالها فى أغراض تجارية وبخاصة فى البيوت الزجاجية . وقد كان المتبـع فى الماضى هـو تغيير التـربة التى توضـع فى مقاعد هذه البيوت الـزجاجيـة كل عـام ، وهذا يكلف كثيرا فضلا عن أنه مضيعة للـوقت . وقد أطلق عـلى هذه الطـريقة أسم المحـاليل المـائيـة hydroponics وهـذا الاسم مشتق من اليونانية ومعناه المـزارع المائيـة water culture . وبهذه الطريقـة وفى ظروف مـلائمة يمكن الحصـول على أقصى عائد (شكل 9 ـ 22) .

وهناك صعوبتان هامتـان تعترض استغـلال هذه الطـريقة



شكل (9ـ22) نمو الطماطم tomato (Lycopersicum esculentum) فى تربة مسمدة وفى محلول غذائى وفى رمل مروى بمحلول غذائى. نمت النباتات كلها بصورة ممتازة واعطت العديد من الثمار.

أ ـ تربة مسمدة.
ب ـ محلول غذائى.
جـ ـ رمل نقى مروى بالمحلول الغذائى.

عـلى نطاق تجـارى . فاجهـزتها المطلـوبة بـاهظة التكـاليف ، والمعـرفة الـواسعة فى مجـالى الكيمياء وفسيـولوجيـا النبات ، فضلا عن الخبرة فى زراعة النباتـات ، تعتبر شروطـا أساسيـة لادارة هـذه المزارع المـائية . إلا أن هـذه الطـريقـة أصبحت لا تتطلب دراية واسعة ، وذلك بعد اتباع نظام آخر جديـد وهو ملء مقاعد هذه البيـوت الزجاجية بخليط من الـدبال والتـربة والـرمل . وبعـد الانتهاء من كـل محصـول يعقم هـذا الخليط بـالبخار ثم تضـاف اليه الأسمـدة ويعـاد استعمـالـه مـرات ومرات .

الخلاصــــة : Summary

1 ـ يمتص النبات الماء والأملاح عن طريق الجذور . ويمتد المجموع الجذرى فى التربة إلى مسافات بعيدة . وامتداد جذور النباتات الخشبية قد يفوق كثيرا تفرعات اغصانها وامتدادها .

2 ـ يبدو للعيان ان الجزء الطرفى لجذر حديث يتكون من قمة الجذر التى تغطى بقلنسوة الجذر ، كما يتكون من منطقتين هما منطقة الاستطالة والمنطقة الناضجة . والزيادة فى طول الجذر ناتجة أصلا عن استطالة الخلايا فى منطقة الاستطالة ، وهى أقصر بكثير فى الجذر منها فى الساق .

3 ـ تحمى القلنسوة قمة الجذر . وتتسلخ خلايا القلنسوة ، إلا أنها تتجدد من الداخل . والشعيرات الجذرية ما هى إلا امتداد لخلايا البشرة التى تغطى الجذر وتعتبر هذه الشعيرات طريقا هاما يتم عبرها تحرك المواد من التربة إلى الجذر .

4 ـ لاتتم عموما عملية الانقسام فى خلايا قمة الجذر (المرستيم الطرفى) إلا نادرا نسبيا . فمعظم ما يستجد من خلايا يتم فى المنطقة المرستيمية التى تقع خلف المرستيم الطرفى ، وتمتد هذه المنطقة حتى منطقة الاستطالة وتتداخل فيها . وفى هذا النسيج المرستيمى الذى يقع خلف القمة لا تنقسم خلاياه فحسب بل تستطيل وتتمايز ويمكن لحد ما تمييز بعضها عن بعض .

5 ـ تنضج معظم خلايا منطقة النضج فسيولوجيا . وفى هذه المنطقة يمكن تمييز المناطق الأساسية للأنسجة فى الجذر الحديث ، وهى البشرة والقشرة والاسطوانة الوعائية . وفى القطاع العرضى يتميز الجذر عن الساق بالنظام المتبادل للخشب واللحاء الابتدائيين .

6 ـ فى كثير من النباتات سواء أكانت خشبية أم عشبية يصحب الجذيرات الحديثة خيوط فطرية تتخلل التربة وتمتد منها مخترقة أنسجة القشرة وتسمى فطر الجذور وهى على نوعين هما : الفطر الخارجى للجذر والفطر الداخلى للجذر . وتحل هذه الخيوط الفطرية محل الشعيرات الجذرية فى امتصاص الأملاح المعدنية والماء من التربة وقد تؤدى هذه الخيوط وظائف أخرى .

7 ـ فى النباتات التى تحمل شعيرات جذرية تمتص الجذور الأملاح المعدنية من التربة ، ثم تمر هذه الأملاح خلال الشعيرات الجذرية والأنسجة الحديثة الأخرى للجذر . وبعملية الانتشار تخترق الايونات وغيرها من المواد المذابة فى الجدران الخلوية (المسافة الطليقة) للقشرة وتتخللها ، ويعمل شريط كاسبرى الذى يوجد حول خلايا القشرة الداخلية على توقف سريان الأيونات وغيرها من المواد المذابة فى هذه الطبقة .

8 ـ باختراق هذه المواد لجدران خلايا القشرة تصبح على اتصال مباشر بكل ما بها من أغشية بلازمية . وعبر السطح المتسع لهذه الأغشية تتحرك هذه المواد نحو السيتوبلازم سواء بعملية الانتشار أو بعملية الانتقال النشط . ثم تنتشر هذه المواد خلال المدمج السيتوبلازمى . وتعمل حركة السيتوبلازم الانسيابية على الاسراع فى انتشارها ، وتمر عبر منطقة القشرة الداخلية والخلايا الحية للاسطوانة الوعائية إلى أن تصل إلى خلايا الجذر الناقلة . وقد تنتقل الأملاح المعدنية من السيتوبلازم إلى فجوات خلايا القشرة وتتراكم فيها وذلك بفعل عملية الانتقال النشط .

9 ـ تنشأ الجذور الجانبية من داخل الجذر ، أما الأوراق والفروع فانها على العكس من ذلك تنشأ من المنطقة السطحية للنبات .

10 ـ تتكون التربة من مواد صلبة وسائلة وغازية والكائنات الحية هى من أهم مكونات مواد التربة الصلبة . وتصنف الأراضى تبعا لحجم جسيماتها ومكوناتها من المعادن .

11 ـ يتحدد حجم الثقوب المسامية فى التربة بحجم دقائقها

كما يتحدد بتكتل هذه الدقائق وتحتوى هذه الثقوب المسامية على الهواء أو الماء أو عليهما معا . والجذور كأى عضو من الأعضاء الحية الأخرى للنبات تستهلك غاز الاوكسجين فى عملية التنفس ، وكمية هذا الغاز الذى يتيسر للجذر استغلالها هى من العوامل الهامة فى نموه .

12 ـ قد يصنف ماء التربة إلى ثلاثة أنواع هى : ماء الجاذبية الأرضية ، والماء الشعرى ، وماء التميع . ومعظم ما يتيسر للنبات امتصاصه من هذه الأنواع هو الماء الشعرى ، وتتراوح قيمته فى التربة بين النسبة المئوية الحقلية ونسبته عند نقطة الذبول الدائم .

13 ـ يتحرك الماء الشعرى فى التربة ببطء ، وقد تتوقف هذه الحركة تماما . وينمو الجذر فى اتجاه المناطق التى يتيسر له امتصاص الماء منها حيث يحصل على معظم ما يحتاجه .

14 ـ الطبقة المسحوقة المغبرة التى يمكن الحصول عليها من زراعة الأرض لا تقلل من فقد الماء منها إلا بقدر قليل . . والأهم من ذلك بكثير ، ولكى تحتفظ الأراضى الزراعية أو البور برطوبتها يشترط مقاومة ما ينمو عليها من حشائش .

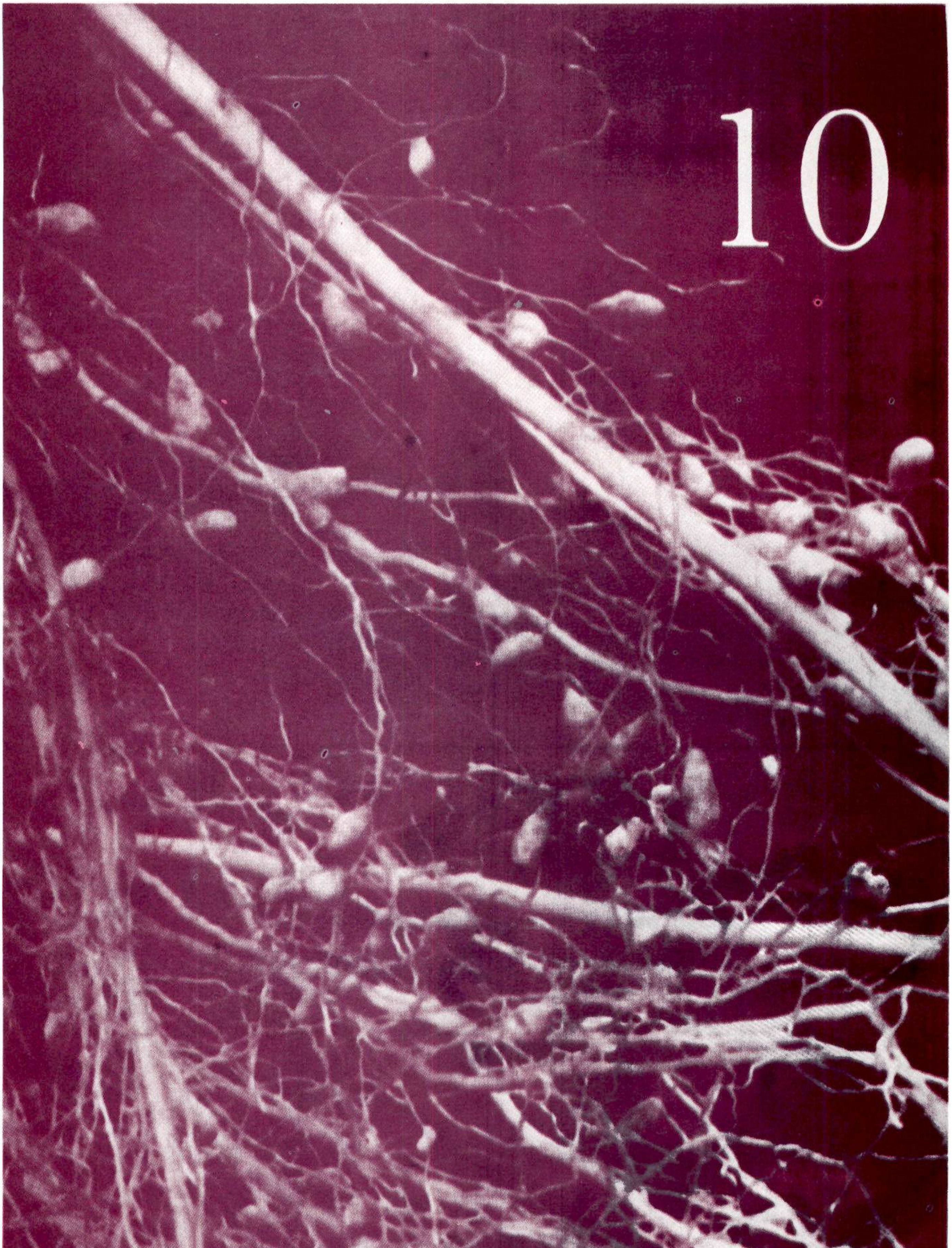
15 ـ تحصل النباتات الراقية على ما يلزمها من عناصر ضرورية سواء من الهواء أو من التربة وتحتاج النباتات الخضراء إلى 16 عنصرا على الأقل لكى تنمو نموا طبيعيا وتتكاثر . ويحصل النبات على عناصر الكربون والهيدروجين والاوكسجين من الهواء ومن الماء . أما العناصر التى يحصل عليها النبات من التربة فهى عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والكبريت والمغنسيوم . وبالاضافة إلى ذلك يحصل النبات من التربة على ما يلزمه من عناصر مغذية صغرى يحتاج اليها بكميات قليلة جدا . وهذه العناصر هى الحديد والنحاس والبورون والمنغنيز والزنك والموليبدينيوم والكلور . وتمتص النباتات الخضراء من التربة كثيرا من العناصر التى تحتاج اليها ، وقد أمكن التعرف على العناصر الضرورية بزراعة النباتات فى محاليل مغذية نقية .

16 ـ يلعب كل عنصر من العناصر الضرورية دورا واحدا أو أكثر فى عمليات التحول الغذائى فبعضها يدخل مباشرة فى تكوين جسم النبات وبعضها يقوم بأدوار أخرى . فعنصرا النيتروجين والمغنسيوم يدخلان مثلا فى تكوين جزىء الكلوروفيل ، والبروتينات تحتوى على عنصرى النيتروجين والكبريت أما الجدران الخلوية فتحتوى على عنصر الكالسيوم .

17 ـ معظم العناصر الضرورية التى تضاف عادة إلى التربة على هيئة سماد ، حيث تحل محل ما نضب منها بفعل زراعتها بالمحاصيل ، هى عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم . وتعتبر هذه العناصر المكونات الأساسية للسماد الخليط .

18 ـ تعتبر عملية التجيير من عمليات التسميد التى تمد النبات بما يلزمه من عنصر الكالسيوم . وتؤدى هذه العملية إلى عدة تغيرات فى الخواص الكيميائية للتربة ، كما تؤدى إلى تغيرات فى أنواع الأحياء الدقيقة التى توجد بها . وهذه التغيرات هى نتيجة مباشرة لاختلاف حموضة التربة . والاختلاف فى حموضة التربة إما أن تنتفع النباتات الراقية منه أو يضر بها . والتربة ذات الحموضة المعتدلة هى من متطلبات معظم النباتات .

الدورات الطبيعية وحياة النبات
Natural Cycles and Plant Life


10

الدورات الطبيعية وحياة النبات

Natural Cycles and Plant Life

تبين العلاقة الرابطة بين النبات من جهة والتربة والماء من جهة اخرى تلك العلاقة التى تحدثنا عنها تفصيلا فى الفصلين السابقين،تبين الترابط الوثيق بين عالمى العضوى واللاعضوى. فحياة النبات والحيوان تعتمد مباشرة على حوالى سدس العناصر الكيميائية الموجودة على الارض. ويتطلب أمر الانتفاع بهذه العناصر ومركباتها فى عمليات النبات الحيوية ونموه كميات من الطاقة أتت فى نشأتها من الشمس. إن كمية المادة والطاقة الداخلة فى العمليات الحيوية لكل من النبات والحيوان تعتبر كميات ضئيلة للغاية، اذا ماقورنت بوزن الارض وبكمية الطاقة المرسلة الى الارض من الشمس (ففى المناطق المعتدلة يصل الى المتر المربع من الارض او سطح الماء أكثر من 5500 كيلو سعر تقريبا يوميا). ولكن بسبب وفرة النباتات على سطح الارض فإن كميات المواد والطاقة المستخدمة فى عملياتها تقدر بأرقام فلكية حقا. والحقيقة الاهم تتلخص فى أن الجزء الاكبر من هذه المواد والطاقة يدخل فى تفاعلات بين الحى وغير الحى.

لقد سميت العلاقات الرابطة بين المواد العضوية واللاعضوية بالدورات. وقد يكون التمعن فى خلق الانسان من الطين (كما ورد فى القرآن الكريم) وتحوله الى تراب بعد موته، وسيلة للتعرف على أعرق تلك الدورات. ونذكر من بين الاعداد الهائلة فى الدورات الطبيعية على سبيل المثال: دورات النيتروجين والكربون والفسفور والماء والاوكسجين والكبريت الخ.. ويدخل من بين عناصر العديد من هذه الدورات التحولات الجارية فى التربة والنباتات والحيوانات. وليس المهم أن تكون بعض هذه الخطوات كبيرة أو صغيرة فالكل يلعب دورا هاما إذ بانتقاء هذه العناصر او الخطوات لاتتم الدورة. وعلى الرغم من أن النظرة المتعجلة الأولى توضح أن كلا من هذه الدورات تتمتع بالاستقلالية، إلا أن التعمق فى الدراسة يوضح أنها تعتمد على بعضها البعض اعتمادا كبيرا. وتسرى باستمرار وتتمتع بالترابط فى كل واحد، ويعنى مفهوم الدورة الرجوع بعد فترة الى حالة البدء، الا أن هذا الرجوع يتم بعد زمن ما وربما بتغير المكان ايضا. على الرغم من أن الخطوط العريضة للدورات الطبيعية تكون واضحة جلية إلا أن درجة إدراكنا لتفاصيل العديد منها لاتتمتع بهذا الوضوح.

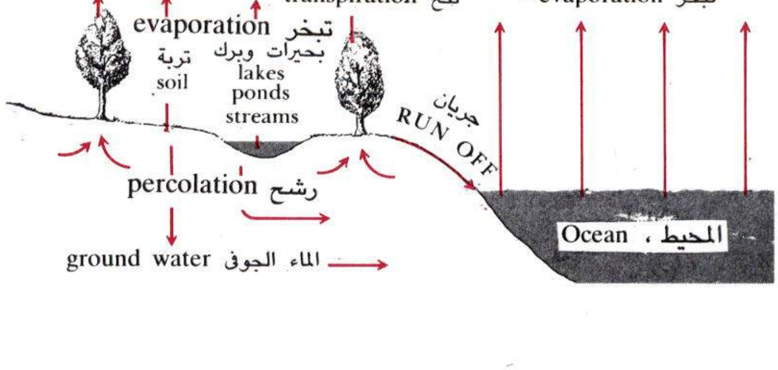
يدخل ضمن نطاق بعض الدورات تغيرات فيزيائية فقط، ومثال ذلك تحول الماء السائل الى بخار وعودته الى حالة السيولة مرة اخرى. وتتم هذه الدورة عبر التبخر أو النتح ثم التكثيف. وهناك دورات اخرى تتم عبر تغيرات كيميائية بجانب التغيرات الفيزيائية والمهم هنا أن نوضح أن كل الدورات تحتاج الى قدر ما من الطاقة لاحداث التغيرات الفيزيائية والكيميائية. كما وأن الطاقة تكون كميا بمفهومها الرياضى، أى إما أن تلزم كمية من الطاقة لاحداث التغير او يطلق التغير كمية من الطاقة نتيجة للتفاعل. وسوف نناقش فى مادة هذا الفصل بعض جوانب التبادلات الطاقية هذه.

دورة الماء (الدورة الهيدرولوجية) The Water (Hydrologic) Cycle

ان عملية انتقال الماء من اليابسة والبحار الى الهواء الجوى وعودته ثانية اليهما تعتبر من أوضح الدورات الطبيعية (شكل 10ـ1) ومع ان كمية الماء الموجودة فى الكرة الارضية ثابتة وفى حالة مستقرة، الا أن مرورها فى دورات يتم تكراره عدة مرات ويوجد الماء على عدة أشكال منها: (1) ماء المحيطات (ويمثل 97 فى المائة من مجموعه الكلى) والمياه العذبة للبحيرات ومجارى الانهار، (2) ماء الثلوج القطبية وأنهار الجليد، (3) الماء الموجود فى طبقة تحت التربة، ويشمل ماء التربة والماء الارضى، (4) بخار الماء فى الهواء الجوى، وكذلك (5) الماء فى الكائنات الحية.

وبالطاقة الاشعاعية التى تسقط على سطح الكرة الارضية تتبخر كميات هائلة من الماء. فالماء يتبخر من المحيطات كما يتبخر من مصادر المياه المكشوفة التى توجد على اليابسة كالبحيرات والخزانات والمجارى المائية. وتعتبر عمليتا التبخير من سطوح التربة الرطبة، والنتح من الكساء الخضرى، من المصادر الهامة للرطوبة الجوية. ويطلق على عملية فقد الماء من هذين المصدرين معا اسم عملية النتح التبخيرى evapotranspiration وتعتبر تيارات الرياح وكذلك الاشعاع الشمسى من العوامل الهامة فى توزيع الرطوبة الجوية على سطح الكرة الارضية.

وبعض الماء الذى يتبخر من سطوح القارات يسقط ثانية على اليابسة، الا أن عودة هذا الماء الى اليابسة يعتبر أقل بكثير من الاعتقاد السائد. فكتل الهواء على اليابسة تعتبر جافة جفافا نسبيا، حتى بعد استيعاب هذه الكتل لبخار الماء



شكل (10 ـ 1) دورة الماء

الممتص من اليابسة. لذلك فإن معظم بخار الماء الموجود فى هذه الكتل لايسقط على القارات بل تحمله التيارات الهوائية فوق المحيطات (شكل 10ـ1) حيث يستوعب كميات اخرى من الرطوبة التى تتبخر من هذه المحيطات. وقد تفقد هذه الكتل الرطبة من الهواء بعض مائها الذى يسقط على شكل مطر فوق المحيطات. أو يسقط على شكل مطر أو ثلج على اليابسة بعد أن يساق ثانية فوقها.

أما مصير الامطار التى تسقط سنويا على كتل اليابسة فانها تسلك احد طريقين. ففى الولايات المتحدة الامريكية يعود مايقرب من 70٪ (حوالى 62٪ بمستوى العالم كله) الى الهواء الجوى سواء بعملية النتح التبخيرى او بعملية التبخير من المصادر المشكوفة للمياه العذبة. وهذا الجزء لايتمكن الانسان من استغلاله إستغلالا مباشرا، ولكن معظمه ذو نفع له. حيث إن وجود الماء فى الطبقات العليا للتربة والمهواة جيدا ضرورى لبقاء الكساء الخضرى الأرضى الذى يشمل الغابات واراضى المراعى والاراضى المزروعة التى لاتروى. ويتجه حوالى 30٪ ممايسقط من أمطار نحو مجارى الأنهار، وهذا هو الجزء الاساسى الذى يمكن استغلاله استغلالا مباشرا سواء فى الرى أو فى الاغراض المنزلية أو فى الصناعة. ومعظم مجارى المياه تصاب بالتلوث من جراء استعمالها، إلا أنه من الممكن أن يعاد استخدامها بعد تنقيتها بمختلف الطرق.

وينتقل الماء الى مجارى الأنهار بعدة وسائل: الاولى هى انسيابه من سطح التربة المشبع به الى البحيرات ومجارى المياه. والاخرى هى انزلاقه من تحت سطح التربة فيرشح (تنز) منها تدريجيا الى أسفل. وبعض هذا الماء يتعمق حتى يصل الى مستوى الماء الارضى. ويعتبر هذا الماء بمثابة خزان مائى طبيعى يعمل على تدفق المياه فى الينابيع ومجارى المياه فى الأجواء الجافة، كما أنه يعتبر مصدرا لمياه الآبار المحفورة او المثقوبة، ويعمل الرشح على انسياب الماء ببطء فيتحرك نحو الانهار والبحار. الا أنه فى أجزاء عديدة من مناطق العالم تحفر آبار عميقة تقوم مباشرة بنزل وتجميع الماء، الذى يعتبر مصدرا هاما من مصادر المياه التى تستغل فى الرى والاغراض المنزلية وغيرها من الاغراض. وعلى ذلك فالدورة الهيدرولوجية تتضمن كلا من دنيانا العضوية وغير العضوية وتشمل دورات فرعية وممرات جانبية. ولهذه الدورة صلة بقضايا اخرى مثل تآكل التربة، والقوة المائية، ومشكلة الغذاء وتلوث المياه، ومشكلة التصنيع، والتحضر (فإمداد معظم المدن الكبرى فى العالم بالماء يعتبر من المشاكل العويصة)، وكذلك التحكم فى الفيضانات. فالحاجة الى الماء فى عديد من أجزاء الكرة الارضية تزيد الآن عما ينساب منه الى مجارى المياه، وعملية ضخ الماء الارضى من الآبار العميقة تتم بمعدل أسرع من معدل تجديده بمياه الامطار وبزيادة عدد السكان فى العالم تزداد الحاجة الى طلب الماء لجميع الاغراض، ويعتقد عديد من الثقاة ان الماء يعتبر احد العوامل العديدة التى ستحدد فى المستقبل عدد من تعولهم الارض من قاطنيها من بنى الانسان.

الحياة فى التربة: Life in the Soil

إن التربة، كما رأينا فى الفصل السابق، لاتحتوى على الرمل والطين والطفل فحسب، بل تحتوى ايضا على مواد عضوية غير حية وكائنات حية. ويقطن معظم الاراضى عدد جسيم من البكتريا والفطريات، فعدد البكتريا وحدها يبلغ مقدرا قدره 5 مليارات فى كل جرام من التربة، وهذا العدد يتوقف على كمية المادة العضوية بها، كما يتوقف ايضا على درجة الحرارة ودرجة الحموضة وغيرها من العوامل وتوجد الفطريات بغزارة فى اراضى الغابات ذات الحموضة المتوسطة التى توجد فى المناطق المعتدلة وكذلك فى الاراضى الرطبة الاستوائية.

ونتيجة لما تقوم به النباتات الخضراء من أنشطة متعددة فإن كميات كبيرة من العناصر الاساسية تتحول الى تراكيب عضوية. وحيث ان الحيوانات تتغذى على النباتات الخضراء فإن بنية هذه الحيوانات تحتوى ايضا على هذه العناصر الاساسية. وكمية هذه العناصر فى صورتها التى يتمكن النبات من استعمالها هى كمية محدودة. ويبدو انه بمضى الوقت تقيد هذه العناصر فى صورة عضوية فلاتتمكن الاجيال المقبلة من الاحياء من استغلالها. الا أن البكتريا والفطريات تحول دون ذلك، فهى تحلل الاجسام الميتة للنباتات والحيوانات وتختزلها الى ماء، وثانى اوكسيد الكربون، وأمونيا، وكذلك مركبات معدنية بسيطة. وبذلك تعود العناصر الاساسية الى التربة، أو تعود الى الهواء كما هى الحال فى

ثانى اوكسيد الكربون.

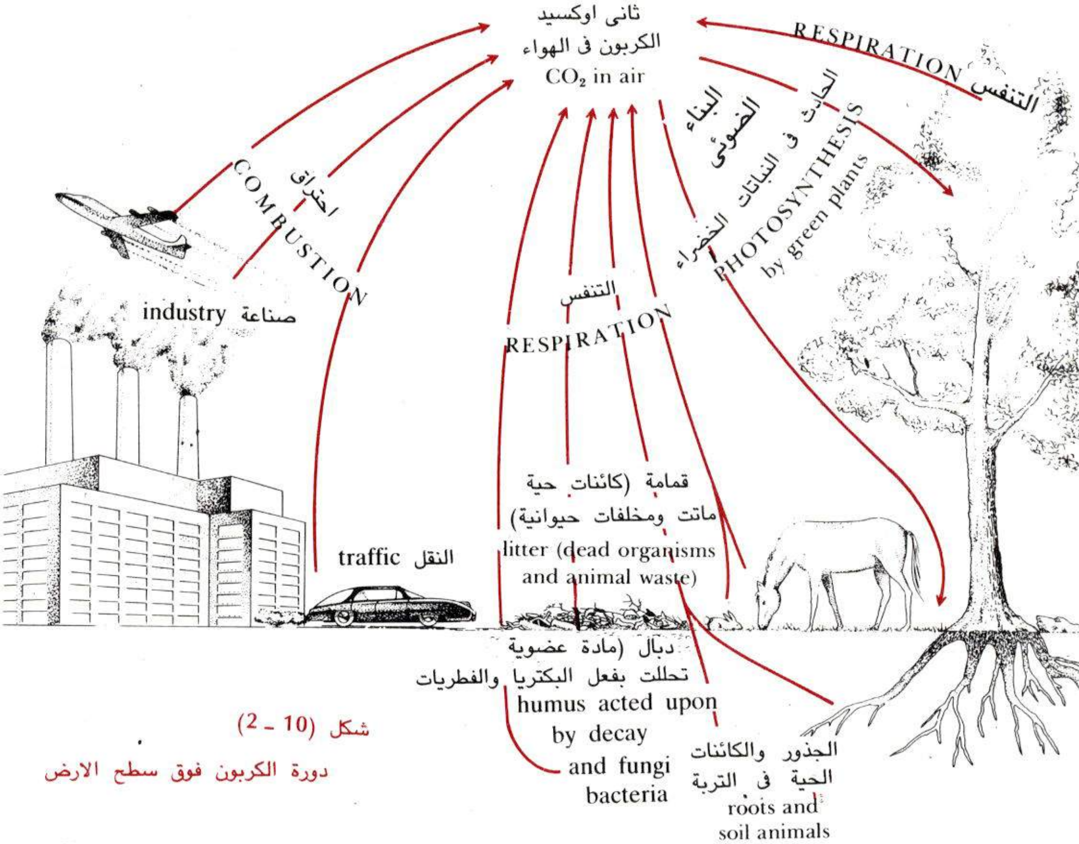
ويتم تدريجيا اختزال المواد العضوية المختلفة الغضة الى مواد ابسط منها، وفى اثناء هذه العملية يتكون عديد من المركبات المختلفة يطلق عليها جميعا اسم دبال التربة Soil Humus ويمكن اعتبار دبال التربة كمستودع يتحرر منه تدريجيا الغذاء المعدنى على الصورة التى يتمكن النبات من استغلالها، وذلك كلما تعرض الدبال الى مزيد من التحلل. وتتم معظم عمليات التحلل فى الطبقات العليا من التربة وهى مايطلق عليها التربة الدورية topsoil التى تصبح غنية بالمخلفات الناتجة عن عملية التحلل.. وعلى ذلك فان العناصر تمر بدورة هى جزء من الدورة التى تتوالى فيها الحياة، والموت والتحلل. وفى غياب هذه الدورة فى التربة، ونتيجة لذلك تتوقف الحياة فى النهاية على سطح الارض.

دورة الكربون : The Carbon Cycle

تبدو دورة الكربـون كدورة المـاء ، بسيطة نسبيـا ، إلا أنها تتضمن عـديدا من الفـروع الجانبيـة . وتختص مظـاهـرهـا الأساسية بوجود ثـانئ اوكسيد الكـربون فى الهـواء الجوى ، كمـا تختص بالكـربـون الـذى يـدخـل فى تكـوين المـركبـات العضوية . وعلى الرغم من أن نسبة ثانى اوكسيد الكربـون فى الهواء الجوى قليلة نسبيا ، وهى كما نذكر عادة تبلغ 0.03 ٪ بالحجم وذلك لمعظم تكتل طبقات الهـواء الجوى ، إلا أن هـذه النسبة القليلة تقدر بحوالى 2000 مليار طن ، وهو مـا يساوى 550 مليار طن من الكربون .

وحيث إن النبـات الاخضر يستنفـذ غـاز ثـانى اوكسيـد الكـربون فى عمليـة البناء الضـوئى فإن عنصر الكـربـون يتم استهـلاكه بـاستمرار من الهـواء . وقد قـدر أن ما يستهلـك سنويا من غاز ثانى اوكسيد الكربون يقرب من 60 مليار طن ، وهو ما يساوى 16 مليار طن من الكربون على وجه التقـريب . ويدمج هذا الكربون فى جسم النباتات كما يدمج فى الحيـوانات التى تتغذى على النباتات . وواضح أنه فى حالة عدم عودة ثانى اوكسيد الكربون إلى الهواء الجـوى حتى يتيسر استغلالـه فى عملية البناء الضوئى ، فإن ذلك يؤدى إلى نفاذه . وعلى أساس التقديرات السابقة يستنفـذ غاز ثـانى اوكسيد الكـربون بعـد مضى 33 عاما تقريبا . ومن حسن الحظ أن الكربون يعود ثانية إلى الهواء على هيئة غاز ثـانى اوكسيد الكـربون سـالكا طـرقا مختلفة . واحد هذه المسالك هو عملية التنفس فى الحيوانـات . أما المسلك الآخر الأكثر أهمية فهو عمليـة التنفس فى النباتـات الخضراء ، وتشمل أيضا الأجزاء غير الخضراء من النبـاتات ، مثل المجاميع الجذرية . أما اكثر المصادر أهمية وهو مـا يعتبر فى الواقع مصدرا أساسيا من مصادر تجدد الكربون على هيئة غـاز اوكسيد الكـربون ، فهـو النشاطـات المتعددة للكـائنـات الدقيقة الرمية التى تتم بها عملية التحلل . وكما ذكر من قبل ، فعندما تموت النباتات والحيوانات تؤثر عليها أعداد هـائلة من البكتريا والفطريات ، فينطلق غاز ثانى اوكسيـد الكربـون من عمليات التنفس الهوائى والتخمر . والنشاطات المتعددة لهـذه الكائنات التى تسبب التحلل ، هى وقبل غـيرها تمـد النباتـات الخضراء بمـا يكفيها من غـاز ثانى اوكسيـد الكربـون الـلازم لعملية تصنيع الغذاء التى تتوقف عليهـا الحياة (شكـل 10 ـ 2) . وعـلى ذلك فـالكربـون الموجـود فى الهواء الجـوى للكرة الأرضية يستغل من جديد مرات ومرات وذلك بمروره فى دورات مستمرة . فمنذ آلاف السنـين التى تفوق الحصر دار الكـربون المـوجود فى اجسـامنا حـول العالم فى دورة تتـابعت حلقـاتهـا السرمـديـة من الهـواء إلى النبـات الأخضر ومن النبـات إلى الحيوان وأخيرا من المواد العضويـة إلى كائنـات ميتة فى حـالة تحلل ، والتى بها ينهى الكربون احدى جولاتـه الأزلية . فـاية ذرة من ذرات الكربون تـوجد فى رغيف من الخبـز أو قطعة من لحم توضع على مائدة الطعام اليوم قد تكون جزءا من نبـات أو حيوان كان يعيش منذ ملايـين السنين عـلى وجه الأرض وذلـك قبل ظهور الانسان أو الثدييات الأخرى أو النباتات الزهرية .

وتعمل دورة الكربون سواء فى البحار أو على اليـابسة . ففى المحيطـات منطقة تنـاظر مثيلتهـا على اليـابسـة وتعيش فيهـا الكائنات ذاتيـة التغذيـة . وهذه المنطقـة البحريـة هى الجزء العلوى من الماء الذى يستقبل الضـوء ، ويمتد هـذا الجزء من السطح إلى أسفل بعمق حوالى 600 قدم ، ويشمـل حوالى 5 ٪ من حجم المحيطـات . وفيمـا عـدا انتقـال بعض الكـربـون فى الاتجـاه العلوى إلى الهـواء الجوى وإلى الاعمـاق فى الاتجـاه السفـلى يؤدى معظم الكربـون دورته فى هـذه المنطقة . ومعظم النباتات ذات التغذية الذاتية التى توجد فى هذه المنطقة هى من



شكل (10 ـ 2)

دورة الكربون فوق سطح الارض

الطحالب الدقيقة الطافية (الفصل ـ 19) ، وأجسامها تحتوى على كربون مثل أجسام سائر الحيوانات التى تتغذى بطريقة مباشرة أو غير مباشرة عليها . وكما هو الحال على اليابسة يتحرر هذا الكربون على هيئة غاز ثانى اوكسيد الكربون الذى ينطلق من عملية التنفس للنباتات والحيوانات والكائنات التى تتحلل ، وتوجد كميات هائلة من ثانى اوكسيد الكربون تقدر بحوالى 60 مرة قدر ما يوجد فى الهواء الجوى ، على صورة ذائبة وذلك فى مياه المحيطات . وتعتبر هذه الكمية الهائلة بمثابة خزان عظيم يعمل على استقرار وحفظ تركيز ثانى اوكسيد الكربون فى الهواء الجوى فى مستوى ثابت تقريبا . وعلى مدى فترات طويلة من الزمن استقر تركيز ثانى اوكسيد الكربون سواء فى الهواء الجوى أو فى البحر وبلغ هذا التركيز حالة من الأتزان .

زيادة ثانى اوكسيد الكربون فى الهواء الجوى -
Increase in Atmospheric Carbon Dioxide

يستنفذ النبات جزءا يسيرا من غاز ثانى اوكسيد الكربون الموجود فى الهواء الجوى بعملية التمثيل الضوئى . ويظل هذا الغاز حبيساً داخل الأنسجة النباتية تحت ظروف لا تسمح بنشاط الكائنات التى تسبب التعفن . ومن أمثلة ذلك الرواسب النباتية العظيمة وغيرها من المواد العضوية التى توجد فى البحيرات الضحلة والاراضى المفيضة والمستنقعات . والمحتوى الكربونى الذى يوجد فى وقودنا المتحجر وهو الفحم والنفط ، والغاز الطبيعى ، قد نتج من تراكم النباتات التى نمت بغزارة فى العصور الجيولوجية الماضية . أما الآن فإن هذا الكربون

يعود ثانية إلى الهواء الجوى على هيئة غاز ثانى اوكسيد الكربون ، وذلك بعملية احراق الوقود المتحجر في حضارتنا الصناعية الحديثة . وتشير القياسات إلى الزيادة البطيئة في تركيز هذا الغاز في الهواء الجوى . وقليل من ثانى اوكسيد الكربون الناتج من عملية الاحتراق يذوب في مياه البحار ، إلا أن السواد الأعظم منه يظل في الهواء الجوى المحيط بالكرة الأرضية . والنتائج التى تترتب على هذه الزيادة في تركيز ثانى اوكسيد الكربون في الهواء الجوى قد أثارت جدلا كبيرا . فثانى اوكسيد الكربون يسمح بنفاذ معظم الأشعة المرئية لضوء الشمس ، إلا أنه يمتص بشدة الأشعة تحت الحمراء ذات الاطوال الموجية الطويلة التى تشع كطاقة حرارية من الأرض إلى طبقات الهواء الجوى . ويؤدى امتصاص الاشعة فوق الحمراء في رجوعها من الارض إلى طبقات الهواء الجوى إلى زيادة معدل درجة الحرارة للطبقات السفلى منه . وطبقا لأحد التقديرات قد يصل مفعول هذا الأثر الحرارى الذى يعرف باسم مفعول الدفيئة green house effect إلى زيادة في معدل درجة حرارة الهواء الجوى المحيط بالارض تبلغ 1.1 م° لكل قرن . وقد يؤدى ذلك بعد مضى 300 ـ 400 عام إلى ذوبان الثلوج في المناطق القطبية مما قد يسبب رفع مستوى المحيطات إلى عدة مئات من الأقدام ويعمل على تخريب معظم المدن الكبرى في العالم ، ويغرق أفضل الأراضى الزراعية . إلا أنه توجد عوامل أخرى تعمل على خفض درجة حرارة الكرة الارضية . ومن الواضح أنه يوجد عدة صعوبات تحول دون التنبؤ بمستقبل الطقس على كرتنا الارضية .

دورة النيتروجين : The Nitrogen Cycle

ذكرنا أن نصف سكان العالم على الأقل يعانون من نقص الغذاء ، وهذا لا ينتج من الغذاء الذى يمدنا بالطاقة فحسب ، بل (وربما يعتبر ذلك أكثر أهمية) من نقص البروتين وغيره من المركبات التى تحتوى على عنصر النيتروجين ، كما ينتج عن نقص الفيتامينات والهورمونات . ويلزم ايضاح أن نقص عنصر النيتروجين يؤدى إلى نقص في المواد البروتينية حيث إنها تتركب من حوالى 18 ٪ من عنصر النيتروجين . ولا تعتبر دورة النيتروجين هامة بالنسبة للانسان فقط بل لجميع الكائنات الحية ، وتبدو أهميتها بالدرجة العظمى إذا ما وضعنا نصب أعيننا العلاقات العديدة بين عنصر النيتروجين والمواد البروتينية .

وفى معظم الأحوال يعتبر نقص كل من عنصر النيتروجين والفوسفور من العوامل المحددة لنمو النبات . ويظهر تأثير هذا النقص بدرجة أوضح من تأثير أى عناصر أخرى . وفى الواقع يبدو أن نقص النيتروجين أمر غريب إذا ما أدركنا أن هذا العنصر يكون حوالى 78 ٪ من حجم الهواء الجوى المحيط بالكرة الأرضية . فالهواء الذى يوجد فوق فدان واحد من اليابسة يحتوى على 35,000 طن من هذا العنصر . ومع ذلك فإن هذا الفدان الواحد لايحتوى غير بضع مئات من الأرطال ، أى ما يقدر في النادر بطنين . ولسوء الحظ ، وفيما عدا بضعة أنواع معينة من الطحالب لا تتمكن النباتات الخضراء من استغلال جزيئات عنصر النيتروجين الطليقة الموجودة في الهواء الجوى .

ولم يكشف النقاب عن هذه المعضلة بطرفيها النقيضين وهما عدم امكانية استغلال أحد العناصر الأساسية استغلالا مباشرا ، بالرغم من وفرته ، إلا في منتصف القرن التاسع عشر . ففى عام 1840 فرض الكيميائى الالمانى ليبج أن النباتات تستغل غاز النيتروجين الذى يوجد طليقا في الهواء . إلا أن ـ السير جون لاوس JOHN LAWES في انجلترا كان يعتقد بعدم صحة هذا الرأى ، ووضع لاختباره خططا وتجاربا تم تنفيذها بالحقل ، ومازال بعضها معمولا به حتى الآن . ومن نتائج هذه الاختبارات وكذلك من تجارب معملية صممت بعناية ، تمكن لاوس من اثبات أن النباتات الخضراء الراقية لا تتمكن بطريقة مباشرة من استغلال النيتروجين الذى يوجد طليقا في الهواء .

ومعظم المواد العضوية التى توجد في التربة تتكون من بقايا النباتات وتحتوى على عنصر النيتروجين على صورة مواد بروتينية او مواد قريبة الصلة بها . والجزء الأكبر من هذا النيتروجين ، لا يختلف عن النيتروجين الطليق الموجود في الهواء الجوى من حيث عدم امكانية النبات الأخضر من استغلاله . فالنباتات تستغل النيتروجين الموجود في التربة ولكن بشرط أن يوجد بها على هيئة مركبات غير عضوية حيث يتحد عنصر النيتروجين اتحادا كيميائيا بعنصرى الهيدروجين والاوكسجين . ومثل هذا النيتروجين الذى يتحد اتحادا

كيميائيا يتم تكوينه اثناء تحلل المواد العضوية نتيجة لنشاط كل من البكتريا والفطريات الموجودة فى التربة .

اكتساب النيتروجين لخواصه المعدنية (معدنة النيتروجين)

Mineralization of Nitrogen

نتيجة لعملية التحليل يمر النيتروجين العضوى بسلسلة من التغيرات تؤدى أولا إلى انتاج غاز الامونيا (NH_3) ثم ايون النتريت (NO_2)، واخيرا أيون النترات (NO_3) . ويتمكن النبات من استغلال هذه الصور المعدنية للنيتروجين بدرجات متفاوتة بالرغم من أن شق النيتريتات يعتبر ساما اذا زاد تركيزه عن التركيزات المنخفضة . ومعظم البكتريا والفطريات الموجودة فى التربة قادرة على تحليل المواد البروتينية لتكوين الامونيا ، أو النشادر وتعرف هذه العملية باسم النشدرة ammonification . وفى الوقت نفسه تتكون مركبات عضوية مختلفة من المواد البروتينية ومن المواد العضوية الاخرى الموجودة فى التربة . وتستغل الكائنات الدقيقة هذه النواتج المتحللة وتشمل الامونيا فى عملية نموها .

فإذا كانت المواد المتحللة غنية بالنيتروجين ، ظهرت الزيادة فى هذا العنصر فى التربة على شكل امونيا . أما اذا كان المحتوى النيتروجينى لهذه المواد منخفضا بالنسبة لما تحويه من مركبات كربونية كنسبة مئوية ، فإن كائنات التحلل لا تستغل الامونيا الناتجة من التحلل فقط بل تستغل أيضا اى نيتروجين آخر موجود فى التربة ويتاح لها استغلاله . وعليه فإن تحلل دريس البرسيم وهو غنى بعنصر النيتروجين يؤدى الى اضافة كميات كبيرة من الامونيا الى التربة . أما تبن القمح وهو فقير جدا فى عنصر النيتروجين فان تحلل هذه المادة فى التربة يؤدى عادة الى نقص ما يتاح استغلاله من نيتروجين التربة وذلك بسبب استهلاك معظمه بالكائنات البكترية .

وإذا تكونت الامونيا فى تربة جيدة التهوية وحموضتها ليست عالية ، فإنها تتحول أولا بفعل بكتريا النترجة (النيترة) الى نتريت وذلك بنوع واحد من البكتريا ثم تتحول بعد ذلك بأقصى سرعة الى نيترات وذلك بنوع آخر من البكتريا ويطلق على العمليتين معا اسم النترجة nitrification ، ولا يعرف الا بضعة أنواع من بكتريا النترجة ، إلا انها واسعة الانتشار فى التربة . وتنطلق الطاقة من عملية اكسدة الامونيا الى نتريت ثم نترات وتستغل بكتريا النترجة هذه الطاقة فى بناء المركبات العضوية من غاز ثانى اوكسيد الكربون . فالنباتات الخضراء تحول ثانى اوكسيد الكربون الى صورة عضوية بفعل الطاقة الشمسية ، الا بكتريا النترجة فإنها تقوم بنفس التفاعلات ولكن بمساعدة الطاقة التى تحصل عليها من اكسدة الامونيا . وعلى ذلك فهذه الكائنات ذاتية التغذية الكيميائية (كيميائية التغذية) اذا قورنت بذاتية التغذية الضوئية (ضوئية التغذية) وتتأثر بكتريا النترجة بسرعة بظروف بيئية مختلفة . وتبلغ عملية النترجة أقصى شدتها فى أرض غير حامضية جيدة التهوية ، تبلغ درجة حرارتها 27 مْ (81 فْ) ، ويتوفر فيها عنصر الكالسيوم وغيره من العناصر الاساسية فى صور يتمكن النبات من استغلالها .

وقد استمرت المادة العضوية المتحللة مدة طويلة مصدرا لملح النيترات الذى استعمل فى انتاج مسحوق البارود . فكان المسحوق الاسود يصنع بسحق نيترات البوتاسيوم (KNO_3) والفحم النباتى والكبريت معاً ، لتكوين مزيج منها على شكل حبيبات . وقد أمكن الحصول على ملح النيترات من قاع الكهوف ، حيث تم تكوينه بعملية نترجة الامونيا الناتجة من سماد الوطاويط . وكانت النيترات تحضر أيضا بخلط بقايا النبات والحيوان برمل وتربة وترك هذه الاكوام من السبلة أو السماد تتحلل. وكانت هذه الاكوام ترطب بالدم والبول لاضافة مزيد من النيتروجين اليها . وبعد حوالى عامين يمكن الحصول على ملح نيترات البوتاسيوم الذى تكون فى هذه السبلة نتيجة لعملية النترجة ثم يستغل هذا الملح فى تحضير مسحوق البارود .

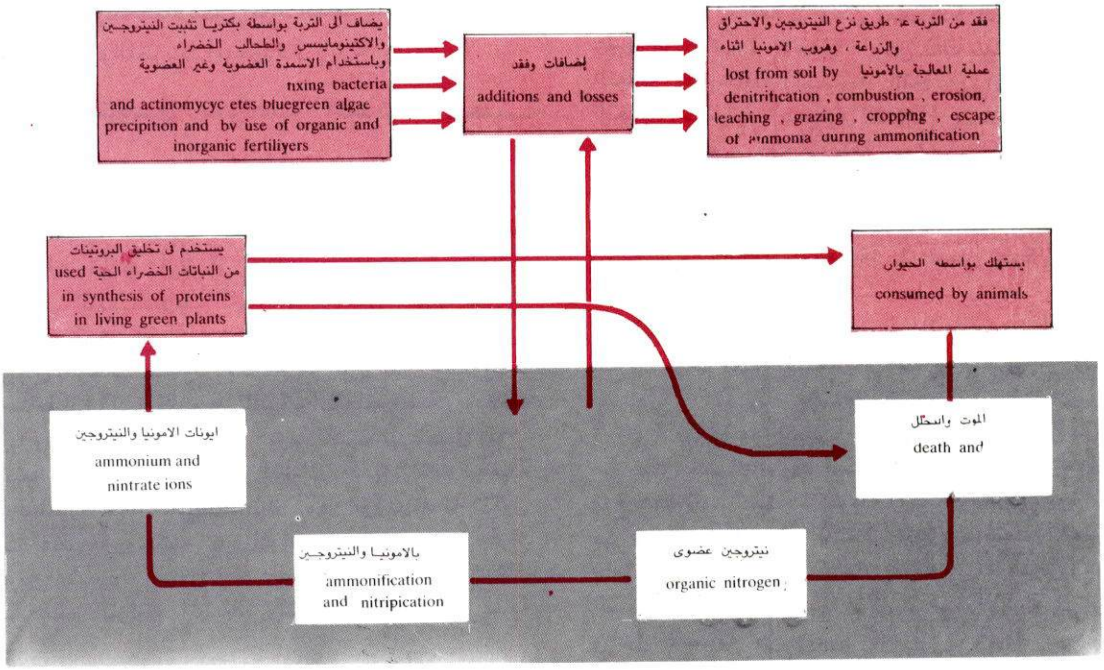
ومن الاعتقادات السائدة فى الماضى أن النباتات الخضراء لا تستغل غير ملح النيترات كمصدر للنيتروجين . إلا أنه قد ثبت الآن إمكانية استغلالها للنيتروجين الموجود فى الأمونيا كما تستغل النيترات تماما . وبعض النباتات خصوصا ما ينمو منها بطريقة طبيعية فى الاراضى الحامضية تستغل الامونيا وتفضلها عن ملح النيترات الا أن غيرها من النبات يحسن نموها فى وجود ملح النيترات .

النيتروجين المستهلك فى حياة النبات

Nitrogen Lost to Plant Life

لا تؤدى عمليتا النشدرة ammonificaion والنترجة nitrificaton الى زيادة كمية النيتروجين الكلية فى التربة ، لانها تعمل فقط على تحول النيتروجين العضوى الموجود فى الانسجة الميتة للنباتات والحيوانات وصياغته فى اشكال يستغلها النبات من جديد . وعليه فان الجزء الجوهرى فى دورة النيتروجين واعظمها اهمية هو انتقال النيتروجين من التربة الى النبات ومن النبات والحيوان ليعود الى التربة من جديد (شكل 10 ـ 3) .

ولا يدور كل النيتروجين فى هذه الدورة دون ان يتسرب جزء منه الى خارجها فهذا العنصر يفقد باستمرار من



شكل (10 ـ 3) الملامح الرئيسية لدورة النيتروجين فى الارض

التربة . ففى الأراضى المنزرعة يعزى هذا الفقد لعدة اسباب هى ـ تآكل التربة وازالة ما عليها من محاصيل (وتشمل الرعى) وغسيل التربة . ونظرا لوجود المركبات النيتروجينية فى حالة مركزة على سطح التربة والتربة السمتية topsoil فإن تآكلها erosion (شكل 10 ـ 8) يتسبب فى فقد النيتروجين بكميات جسيمة . وفى الواقع فإن من أخطر نتائج تآكل التربة هو فقدها لعنصر النيتروجين . والتقديرات الكلية للفقد فى النيتروجين تتراوح من كمية تتساوى تقريبا مع الفقد منه فى حالة ازالة ما على التربة من محاصيل الى ضعف هذه الكمية . وتفقد الأراضى بعض محتواها النيتروجينى بحصاد المحاصيل التى تنتجها ، وتختلف الكمية التى تفقدها باختلاف المحصول وكذلك بالطريقة التى تعالج بها هذه المحاصيل . فمحصول جيد من حبوب الذرة يحتاج الى 100 رطل من النيتروجين لكل فدان ينتزعها من التربة ، وربما يقدر متوسط الفقد لمختلف المحاصيل بما يساوى 25 رطلا لكل فدان فى العام . وإطعام الحيوانات بالمحصول بعد حصاده ثم إعادة السماد الى التربة ثانية بعد معالجته بعناية قد يؤدى إلى نقص هذا الفقد نقصا ظاهرا . وتفقد التربة بعض محتواها النيتروجينى ، الذى قد يبلغ كميات جسيمة، بفعل حيوانات الرعى ، التى تحتفظ فى ـ جسمها بهذا المحتوى على شكل مواد بروتينية . ويغسل النيتروجين الموجود على هيئة نيترات من التربة وذلك بفعل الماء الذى يتخللها سواء أكان ماء المطر أو ماء الرى وعلى العكس من ذلك الامونيا ، فإن التربة تحتفظ بها فلا تغسل ولا تصفى منها بسهولة فإذا استخدمت الامونيا فى تسميد الأراضى الثقيلة نوعا ما ، ووضعت فى طبقات عميقة منها (شكل 9 ـ 21) فإن انخفاض التهوية فى هذه المستويات يفوق عملية نترجة الامونيا ويقلل من فقدها بفعل الغسيل . وقد تستخدم الامونيا ايضا أثناء فصل الخريف فى المناطق التى تنخفض فيها درجة الحرارة انخفاضا يفوق نمو وتكاثر بكتريا النترجة . أما فى المناطق الاكثر دفئا حيث قد تتم عملية النترجة أثناء فصل الشتاء فيفضل زراعة التربة باحد المحاصيل الشتوية وذلك لامتصاص النيتروجين الموجود بها على هيئة نيترات حتى لا يتسرب منها وتفقده بفعل الغسيل .

وحرق سيقان الذرة والقطن والفول وغيرها من المواد النباتية يؤدى الى فقد محتواها النيتروجينى تماما . ومن النتائج الخطيرة للحرائق التى تشب فى الغابات ، حتى ولو

كانت هذه الحرائق أرضية ، تسببها في فقد محتواها النيتروجينى على هيئة اكاسيد النيتروجين مثل ثانى اوكسيد النيتروجين (NO_2) واول اوكسيد النيتروجين (NO) وقد قدر أن احدى هذه الحرائق قد تسببت فى فقد 500 رطل من النيتروجين لكل فدان ، وتبديده على هيئة غازات وذلك فى الدخان الذى يتصاعد منها . وقد تبلغ تكاليف اعادة مثل هذه الكمية إلى الارض أكثر من ثمن الارض نفسها ، وفى الهواء الجوى أيضا تنطلق أكاسيد النيتروجين الناتجة من احتراق الوقود المتحجر (الفحم الحجرى ، والزيت والغاز الطبيعى) ، كما تنطلق من نفايات المنازل وغيرها من المركبات الاخرى وتثير هذه المركبات الاهتمام بها وخصوصا فى المناطق الصناعية الكبرى حيث قد تؤدى الى تلوث الهواء الجوى .

وأخيرا سنتعرض لما تفقده التربة من عنصر النيتروجين الذى ينطلق فى الهواء نتيجة للنشاطات المتعددة للكائنات الدقيقة . فالبرغم من أن جزءا من نيتروجين التربة يتحرر على هيئة غاز امونيا أثناء عملية نشدرة المواد البروتينية التى توجد فى الفضلات السطحية ، إلا أن الأهم من ذلك هو النيتروجين الذى يتبدد بفعل البكتريا التى تعيش فى التربة . ويطلق عليها البكتريا المحللة للمواد الازوتية ، denitrifying bacteria وتعيش هذه البكتريا عادة فى ظروف هوائية ، الا أنها قادرة على العيش والنمو فى ظروف لا هوائية ، اذا وجدت املاح النترات فى التربة وانخفض المدد الاوكسجينى كثيرا ، ففى مثل هذه الظروف تستخدم هذه البكتريا نوعا معقدا من العمليات التنفسية تلعب فيها النترات وليس غاز الاوكسجين دورا فى عملية الاكسدة النهائية ويتحرر النيتروجين خصوصا على هيئة اوكسيد النيتروز (N2O) وغاز النيتروجين (N2) ويتبدد من التربة . لظروف تشجع عملية نزع النيتروجين denitrification . تنشأ من غمر التربة بالماء اثناء الفيضانات واطالة مدة الجو الرطب ، واكتناز التربة ونضوب الاوكسجين الموجود فى التربة نتيجة لسرعة نمو ما بها من بكتريا خصوصا اذا كانت هذه التربة دافئة وغنية بالمواد العضوية . وقد تؤدى عملية نزع النتروجين الى تبديد الاسمدة النتروجينية القيمة من الاراضى الزراعية الجيدة . وقد تتم عملية نزع النتروجين فى الاراضى غير المنزرعة رديئة الصرف ، والكمية الكلية التى تفقدها من النتروجين بسبب هذه العملية ربما تعتبر عادة اكبر مما يظنه البعض منا .

ويعتبر المدد النيتروجينى دائما فى حالة مستمرة من الاستغلال او النضوب او التبديد ، أو التجديد ، وقد قدر ان الفقد فى عنصر النيتروجين من الاراضى المنزرعة للولايات المتحدة بعمليات الغسيل ونزع النيتروجين وازالة المحاصيل ، والرعى وتآكل التربة يبلغ حوالى 23 مليون طن سنويا ، ويتم تعويض هذا النقص بما يساوى 16 مليون طن ، أى ان صافى النقص يبلغ حوالى 7 ملايين طن . بل ان الفقد فى العناصر الاخرى يزيد عن ذلك ، فصافى الفقد فى عنصر البوتاسيوم يبلغ سنويا 45 مليون طن ، وفى الكالسيوم مايزيد عن 55 مليون طن .

تعويض النيتروجين : *Nitrogen replacement*

واضح ان خصوبة التربة تميل الى الاضمحلال وانه يجب بذل كل المحاولات لمنع هذا الاضمحلال وتعويض ما تفقده التربة من العناصر الاساسية وتعويض الفقد فى النيتروجين بعدة وسائل منها : (1) استعمال الاسمدة النيتروجينية ونفايات المحاصيل والاسمدة الخضراء وكذلك (2) المركبات النيتروجينية مثل الامونيا التى تصل الى التربة على هيئة محلول مع المطر والجليد وكذلك (3) النشاطات المتعددة للبكتريا وغيرها من الكائنات الدقيقة التى تعمل على تثبيت النيتروجين .

ويستخدم فى الولايات المتحدة ما يقدر بحوالى 35 مليون طن من الاسمدة التجارية سنويا بها من المحتوى النيتروجينى ما يقدر بحوالى 15٪ وكما اشرنا سابقا يحتوى الهواء الجوى على غاز الامونيا واكاسيد النيتروجين وجزء عظيم من هذه الاكاسيد يتحول بفعل العمليات الكيميائية الضوئية الى املاح النترات ، التى تعود ثانية مع ايونات الامونيوم الى التربة مع المطر الساقط . وكمية النيتروجين التى تعود ثانية الى التربة تختلف من وقت لآخر كما تختلف من منطقة لاخرى ، وتقدر بحوالى 3 ــ 6 ارطال لكل فدان سنويا وذلك فى المناطق ذات المناخ المعتدل . وهذا له بعض الاهمية فى احتفاظ التربة بخصوبتها : واهم ما يعوض النقص فى نيتروجين التربة هو نشاط البكتريا التى تعمل على تثبيت النيتروجين والتى تعيش فى جذور انواع معينة من النباتات .

تثبيت النيتروجين التكافلى : Mutualistic Nitrogen Fixation

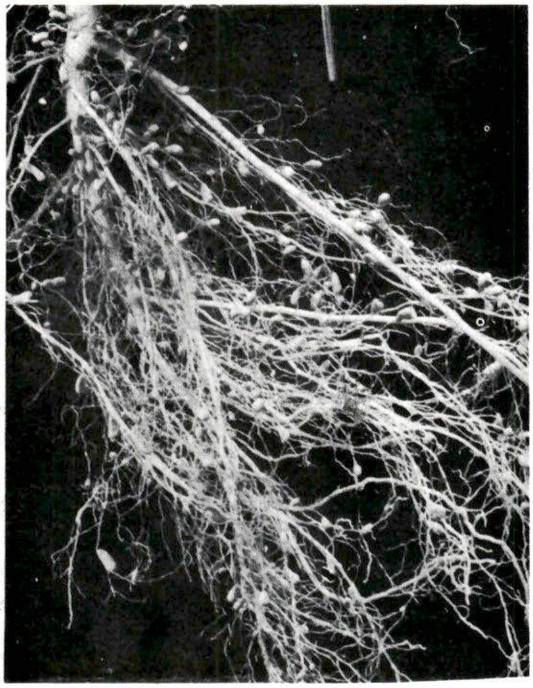
كتب ثيوفراستس Theophrastus قبل ميلاد المسيح بنحو 300 عام ان اليونانيين كانوا يزرعون الفول كمحصول لزيادة خصوبة التربة . وقام الرومان كما

يقول بلينى بزراعة محاصيل مماثلة واعادوها الى الارض كسماد اخضر ، فقد تعرفوا على قيمة نباتات الترمس والصفصفة وذلك لزيادة خصوبة التربة .

والمحاصيل التى لها قيمتها فى هذا المجال هى النباتات البقولية ، وتتبع هذه النباتات عائلة كبيرة من عوائل النباتات الزهرية وتشمل انواع البرسيم كالبرسيم الحجازى وفول الصويا والفول السودانى (البيقة) Vetch وانواع البازلاء والفول وكثيرا غيرها . وترجع قيمة هذه النباتات الى نشاط طراز خاص من البكتريا يتبع جنسا يطلق عليه ريزوبيوم Rhizobium ويعيش فى انتفاخات على الجذور يطلق عليها بالعقيدات inodules أو درينات (نتوءات) tubercles (شكل 10 ـ 4) وتخترق هذه البكتريا الشعيرات الجذرية وبدخولها تنشط خلايا القشرة وتنقسم ، ربما بفعل هرمونات النمو التى تفرزها البكتريا ، وتكون خلايا القشرة المنقسمة عقدا تعيش داخلها البكتريا .

وباختزال غاز النيتروجين الذى يوجد طليقا فى هواء التربة تتمكن البكتريا التى تعيش فى النباتات البقولية من تكوين غاز الامونيا ، مستغلة فى ذلك المواد السكرية وغيرها من المركبات التى تحصل عليها من النبات البقولى كمصدر للطاقة . وتسمى هذه العملية باسم تثبيت النيتروجين nitrogen fixation . ولا يمكن للنبات الاخضر الراقى ان يقوم بهذه العملية ، ويتحد جزء من الامونيا المتكونة بكمية اخرى من المواد السكرية التى توجد فى النبات البقولى فى وجود البكتريا وذلك لانتاج الاحماض الامينية والمواد البروتينية حيث ينتفع بها . وفى الظروف الطبيعية تتكون الامونيا بكميات زائدة وهذا المركب المفيد يحصل عليه النبات البقولى للانتفاع به . وعليه فان كلا من البكتريا والنبات البقولى يستفيد من هذه العلاقة التكافلية mutualistic relationship .

ولا تتم عملية تثبيت النيتروجين التكافلية الا فى وجود الكائنين معا جنبا الى جنب . فهذه العملية لا تتم فى وجود البكتريا او النبات البقولى كل بمفرده ، فالنبات البقولى الذى لا يحتوى على عقد بكتيرية يحصل على كل ما يلزمه من النيتروجين من التربة . وحتى فى وجود هذه العقد يحصل النبات البقولى عادة على بعض ما يحتاجه من النيتروجين عن طريق التربة .



شكل (10 ـ 4) عقد بكتريا التثبيت النيتروجينى فى جذور نبات clover (Trifolium incarnatum)

ويعزى فهمنا لعملية تثبيت النباتات البقولية لغاز النيتروجين الى سلسلة من الاكتشافات قام بها عدد كبير من الباحثين . فقد بين لاوس Lawes وغيره ، ان النباتات الخضراء لا تتمكن من الاستفادة بطريقة مباشرة بغاز النيتروجين الموجود فى الهواء الجوى . الا انه وضح بعد ذلك بالتدريج ان النباتات البقولية تختلف من الوجهة الاساسية عن النباتات الخضراء الاخرى من حيث مصدر النيتروجين اللازم لكل منها . فقد بينت التجارب ان النباتات البقولية تكتسب من النيتروجين ما يزيد عما يوجد فى التربة والبذرة والماء . واخيرا وفى عام 1888 سجل العالمان الالمانيان Hellriegel و Wilfarth نتائج تجاربهما التى اجريت على نطاق واسع ، وتبين منها ان النباتات البقولية تحصل على ما يلزمها من عنصر النيتروجين عن طريق الهواء الجوى نتيجة لنشاط الكائنات الدقيقة التى تعيش فى عقد جذورها .

فقد قاموا فى احدى تجاربهم بغرس انواع من البازلاء peas والترمس lupines فى اصيص تحتوى على رمل معقم . ثم اضافوا الى بعض هذه الاصص مستخلصا من تربة

خصبة سبق لهم ان زرعوا فيها بنجاح هذه النباتات البقولية فوجدوا ان النباتات البقولية فى هذه الاصص قد كونت عقدا ونمت نموا قويا وزادت مكوناتها من النيتروجين . وطبيعى ان هذا المستخلص كان يحتوى على النوع الملائم من البكتريا . اما نباتات البازلاء والترمس التى غرست فى الرمل ولم يضف اليها المستخلص فقد نمت نموا ضعيفا وسرعان ما ماتت . وقد اعيدت نفس التجربة على نبات الشوفان وهو من النباتات غير البقولية فوجد ان اضافة المستخلص اليه لا يؤدى الى اية نتيجة . ولكى يبرهنوا على ان تأثير المستخلص ليس ناتجا عما يحويه من نيتروجين . رفعوا درجة حرارة هذا المستخلص ليتمكنوا بذلك من قتل البكتريا فوجدوا ان النباتات التى اضيف اليها هذا المستخلص لا تختلف بتاتا عن النباتات التى نمت فى رمل معقم ولم يضف اليها أى شىء . وبذلك تم تفسير مغزى وجود العقد البكترية فى النباتات البقولية ، وكان وجودها قد عرف قبل ذلك بمدة طويلة .

وتعتبر النباتات البقولية ذات اهمية من حيث قيمتها الغذائية بالاضافة الى دورها فى تحسين انتاج المحاصيل الاخرى . وتزرع النباتات غير البقولية بمصاحبة النباتات البقولية ، فمثلا يزرع ذيل القط timothy مع البرسيم الحجازى فتستفيد النباتات الاولى من هذه المشاركة . ومن المحتمل ان جذور النبات البقولى الغنية بالنيتروجين وبما تحمله من عقد بكتيرية يتبطأ نشاطها ثم تتحلل فى التربة وفى النهاية يتحرر عنصر النيتروجين منها على هيئة مركبات غير عضوية . واعقاب وجذور كثير من النباتات البقولية المعمرة التى تترك فى التربة بعد حصاد هذه النباتات من اجل استخدامها كدريس ، بها من النيتروجين ما يكفى للحفاظ على خصوبة التربة ، كما تعمل على زيادة انتاج المحاصيل التى تزرع فيها بعد ذلك .

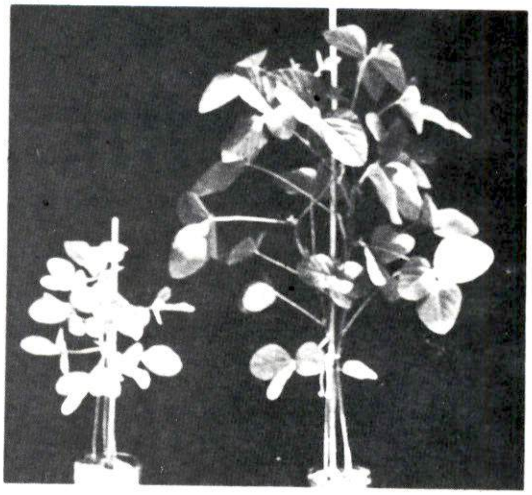
الا ان الاستفادة الكبرى للتربة ولما يزرع بها من محاصيل تالية يأتى لدى حرث المحصول البقولى وتركه كله فى التربة كسماد اخضر . وهذا الاجراء المألوف يضيف للتربة كميات لا بأس بها من عنصر النيتروجين ، بالاضافة الى المواد العضوية . فبعد ان يكتسب النيتروجين العضوى خواصه المعدنية يستغله النبات الاخضر . وعادة ما يستمر التأثير المنشط للسماد الاخضر البقولى على نمو المحاصيل لعدة سنين ، ومع ذلك ففى كثير من الاراضى الخصبة التى توجد فى المناطق المعتدلة يرتفع الآن ثمن المحصول الضائع سواء اكان من الحبوب او من اى محصول آخر بحيث اصبح من الارخص عادة شراء غاز الامونيا (شكل 9 ـ 21) بدلا من زراعة محصول وحرثه ليترك فى الحقل كسماد اخضر .

وتختلف كمية النيتروجين التى يعمل النبات البقولى على تثبيتها سنويا باختلاف طبيعة التربة ، ونوع النبات البقولى وغيرها من العوامل . وقد وجد ان بعضا من الكائنات العقدية تقوم بتثبيت ما مقداره 250 رطلا من غاز النيتروجين لكل هكتار سنويا ، الا ان المتوسط ربما يبلغ 80 رطلا لكل هكتار وقد قدر ان حوالى $5\frac{1}{2}$ مليون طن من النيتروجين الذى يثبت تكافليا بفعل النباتات البقولية المنزرعة يضاف سنويا الى اراضى الولايات المتحدة .

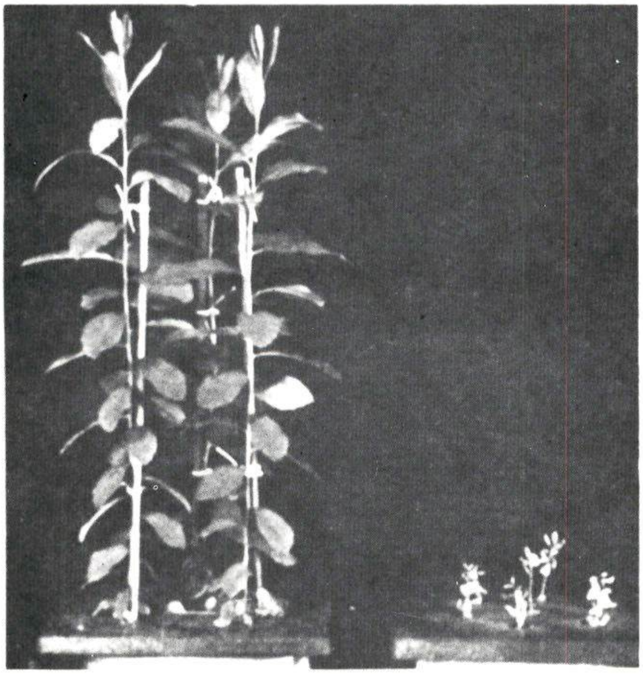
ولا يتم تثبيت النيتروجين تكافليا الا فى وجود انواع معينة من البكتريا ، وعليه فان من المفيد عادة عند زراعة محاصيل من النباتات البقولية اضافة هذه الانوع البكتريا للتربة ، وتضاف البكتريا العقدية للبذور فى وقت زراعتها . وتزرع البكتريا اولا باعداد كبيرة فى محلول مغذ او يتم امدادها بالغذاء المطلوب ، وذلك تحت ظروف لا يتم فيها نمو انواع البكتريا الاخرى والفطريات ويطلق على هذا النوع من المزارع اسم المزارع النقية pure cultures . وتحت اسماء تجارية مختلفة تقوم شركات البذور التجارية ببيع مزارع من البكتريا التى تثبت النيتروجين ممزوجة بناقل معين . وللتأكد من وجود البكتريا قرب الجذور فى وقت الانبات (شكل 10 ـ 5) تمزج البكتريا بالبذور قبل زراعتها مباشرة وتسمى هذه العملية باسم عملية الحقن inoculation . وقد اظهرت البحوث وجود عدة انواع وسلالات او اصناف من بكتريا تثبيت النيتروجين . ولا تصيب سلالة معينة من البكتريا كل انواع النباتات البقولية ، بل تلك الانواع التى توجد ضمن مجموعات خاصة منها . ويوجد سبع مجاميع تطلب انواعا مختلفة من البكتريا وهذه المجاميع هى مجموعة البرسيم الحجازى والنفل والبازلاء ، والفاصوليا والترمس وفول الصويا واللوبيا . واضافة الجير الى التربة يشجع البكتريا على النمو لانه يعمل على تعادل حموضة التربة ، فافضل نمو للبكتريا واقصى تكوين للعقد يوجد عند نقطة التعادل او قريبا منها ..



شكل (10 ـ 6) نبات البن coffee (coffeaarabica) المزروع فى ظل أشجار البقوليات leguminous (Albizzia endocarpa)



شكل (10 ـ 5) نبات فول الصويا soybeans المطعم وغير المطعم بالحقن
أستنبت النبات على يسار الصورة من بذرة غير مطعمة بينما حقنت بذرة النبات الآخر ببكتريا فول الصويا قبل زراعتها .



شكل (10 ـ 7) نبات الشمع (Myrica gale) بعد مرور موسم واحد من زراعته فى محلول غذائى يخلو من النيتروجين المتحد . النباتات على يسار الصورة تتضمن جذورها عقداً نيتروجينية وتخلو منها النباتات على يمين الصورة .

وعملية استخدام النباتات البقولية لتحسين التربة تعتبر من العمليات الهامة فى المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية ، كما تعتبر هامة فى المنطقة المعتدلة . اما الانواع المستخدمة فتختلف عادة وذلك لكى تتلاءم مع اختلاف الطقس والتربة . وفى المناطق الاستوائية تزرع غالبا الاشجار البقولية فى مزارع الكاكاو cacao والبن coffee حيث تهيأ لهما الظل كما وتضيف للتربة المركبات النيتروجينية (شكل 10ـ6).

وقد اختص الشرح السابق اساسا باهمية النباتات البقولية فى الزراعة . ومع ذلك لايزرع من هذه العائلة الكبيرة (البالغ عددها حوالى 14,000 نوع) غير 200 نوع ، ولا يمكننا ان نتجاهل العدد الكبير من الانواع والافراد التى تنتشر فوق الكرة الارضية فى مختلف البيئات مثل شواطىء البحار ، واراضى المراعى والشجيرات ، ومناطق الغابات الاستوائية . وتشمل النباتات البقولية التى توجد فى البيئات الطبيعية اعشابا معمرة ومتسلقات خشبية وشجيرات وكذلك اشجارا . ولا تحمل كلها عقدا بكتيرية ، ولكن يحتمل ان 90٪ منها ، كما يعتقده البعض تساهم مساهمة فعالة فى امداد التربة بعنصر النيتروجين الذى يستغله النبات الاخضر بعد اكتساب النيتروجين لخواصه المعدنية .

وبالرغم من ان عملية تثبيت النيتروجين التكافلية تعتبر من العمليات المعروفة جيدا فى النباتات البقولية ، الا انها وجدت ايضا باعداد متزايدة فى النباتات الزهرية غير البقولية . فمن المعروف ان اكثر من 100 نوع من النباتات ، وتتبع حوالى 13 جنسا ، وكلها من النباتات الخشبية لذوات الفلقتين تكون عقدا تعمل على تثبيت النيتروجين داخلها . والاعتقاد السائد ان الذى يقوم بتثبيت النيتروجين فى هذه النباتات هو الخيطيات Actinomycetes وهى كائنات تشبه الخيوط تعتبر فى بعض مظاهرها وسطا بين الفطريات الحقيقية والبكتريا الحقيقية . ومن ابرز النباتات التى توجد بين النباتات الزهرية غير البقولية جار الماء alder (Alnus sp) والصنوبر الاسترالى Australian pine (Casuarina sp) والجيل الحر sweet gale (Myrica gale) وهى شجيرة تنمو فى شمال امريكا الشمالية واسيا واوروبا . ويبين الشكل (10ـ7) نمو الجيل الحلو sweet gale بعد حقنه بالكائن الحى الذى يعمل على تثبيت النيتروجين او بدونه . ونظرا لقدرتها على تثبيت النيتروجين الذى تضيفه الى التربة ، فاغلب الظن ان هذه النباتات التى تحمل العقد البكترية تعتبر ذات اهمية عظمى من الوجهة البيئية خصوصا فى المواقع التى ينخفض فيها المحتوى النيتروجينى مثل المناطق التى ينحسر عنها الجليد ، والكثبان الرملية ، وحواف الانهار والبحيرات . ولم تمارس زراعة هذه النباتات على نطاق واسع بغرض تحسين التربة ، الا انه يرجى من زراعتها مع النباتات المخروطية الصغيرة فى المناطق الشمالية زيادة نمو الاخيرة .

تثبيت النيتروجين اللاتكافلى : Nonmutualistic Nitrogen Fixation

تتم ايضا عملية تثبيت النيتروجين بكائنات دقيقة تعيش حرة طليقة مثل البكتريا والطحالب الخضراء المزرقة وربما الخيطيات Actinomycetes والفطريات . والبكتريا الطليقة التى تعمل على تثبيت النيتروجين تشمل انواعا تابعة لحوالى 15 جنسا منها الازوتوبكتر Azotobacter والكلوستريديم Clostridium ، وغيرها ذات التغذية المغايرة heterotrophic اى تحصل على غذائها من التربة عل صورة مواد عضوية . الا انه فى معظم الاراضى المنزرعة الموجودة فى المنطقة المعتدلة تعتبر هذه الاشكال قليلة الاهمية . فقد توجد باعداد قليلة ، كما انها تحتاج الى كميات كبيرة من الطاقة للقيام بنشاطها فى عملية تثبيت النيتروجين وبصورة مثالية تعمل هذه الكائنات على تثبيت حوالى رطل واحد لكل 100 رطل من المواد الكربوهيدراتية المستهلكة . وتعتبر العملية اكثر اهمية فى المناطق الاستوائية ، ولكن اهمية هذه الكائنات بوجه عام هى انها يمكنها تثبيت كميات صغيرة من نيتروجين الهواء الجوى فى فترات زمنية طويلة فهى بذلك تساهم على نطاق عالمى واسع فى امداد التربة وكذلك المياه بالمكونات النيتروجينية .

ويوجد من الادلة التجريبية ما يثبت ان بعض انواع معينة من الخيطيات الطليقة وكذلك الفطريات ، وتشمل بعض انواع الخميرة yeasts الموجودة فى التربة تقوم بعملية تثبيت النيتروجين . الا ان هذا الموضوع يثير جدلا كثيرا ، ومازال مدى اهمية هذه العملية مجهولا .

الا ان عملية تثبيت النيتروجين بالطحالب الخضراء المزرقة (انابينا Anabaena ، والنوستوك Nostoc وغيرها فصل 19) تعتبر اكثر اهمية وبها يستفيد من النيتروجين الجزئى

جميع اشكال الحياة ، سواء الموجود منها على سطح التربة او فى الماء . الا ان اهمية الطحالب فى عملية تثبيت النيتروجين تعتبر اقل من الواقع بكثير . فلا توجد هذه العملية فى كل الطحالب الخضراء المزرقة ، وتبدو انها مقصورة على حوالى 14 جنسا لها خصائص تركيبية معينة . وبدراسة المزارع النقية لهذه الطحالب وجد ان اكثر من 40 نوعا منها تقوم بعملية تثبيت النيتروجين . وهذه الانواع وغيرها من الطحالب الخضراء المزرقة توجد فى كثير من البيئات مثل الصحارى والمناطق شبه الصحراوية والاراضى المنزرعة واراضى المراعى وعلى اسطح الصخور ، وفى المياه العذبة للمستنقعات والبحيرات والمستنقعات الملحية وكذلك فى البحار . وتتحرر المركبات النيتروجينية الناتجة فى البيئات المختلفة سواء اثناء حياة او موت هذه الكائنات واكتساب النيتروجين لخواصه المعدنية ، ويتساوى معدل عملية تثبيت النيتروجين بالطحالب الخضراء المزرقة بالمعدلات المتوسطة او الجيدة لعملية تثبيت النيتروجين بالنباتات البقولية ، اذا قورنت العمليتان ببعضهما .

وفى عديد من اراضى المراعى شبه الصحراوية خصوصا فى غرب امريكا الشمالية توجد الطحالب الخضراء المزرقة على شكل قشور متصلبة على سطح التربة . وهذه الكائنات هى مصدر المواد العضوية ، كما انها تعمل على تحسين تسرب ماء المطر ، واضافة مكونات نيتروجينية للتربة . وتقاوم هذه الطحالب عملية الجفاف بشدة وتنشط فى عملية تثبيت النيتروجين بعد ساعات من سقوط المطر . وربما تعتبر الطحالب الخضراء المزرقة منذ آلاف السنين مصدرا للمكونات النيتروجينية فى حقول الرز التى تزرع فى المناطق الاستوائية . ففى شرقى اسيا وجنوب شرقيها حيث يزرع الرز فى حقول مغمورة بالماء ، تحتفظ معظم المناطق بمستوى انتاج متوسط بدون تسميد . فعلى الرغم من فقد التربة لمحتواها النيتروجينى بعمليات الغسيل ، ونزع النيتروجين denitritication وكذلك بالحصاد ، الا ان هذا المحتوى النيتروجينى يتجدد بعملية تثبيت النيتروجين التى تقوم بها الطحالب الخضراء المزرقة التى تنمو بغزارة فى مسارات الرز او الحقول الرطبة . واخيرا فان الطحالب الخضراء المزرقة التى تقوم بعملية تثبيت النيتروجين تعتبر احد المصادر الهامة للمكونات النيتروجينية فى المحيطات بالرغم من صعوبة تقييمها على الوجه الاكمل . ومن المؤكد ان انواعا بحرية من الطحالب الخضراء المزرقة تقوم بتثبيت النيتروجين ، فقد لوحظ ازدهار و «تورد» الطحالب الخضراء المزرقة فوق مئات من الاميال المربعة من سطح المحيطات التى تقع على خطوط عرض كثيرة .

وفيما يلى ارقام تبين مقدار ما تستفيده التربة من النيتروجين بفعل الكائنات الحية . فبالنسبة لدنيانا تقدر الكمية الكلية التى تضاف للتربة كل عام بحوالى 100 مليون طن ، من هذا المقدار قدرت الكمية التى يتم تثبيتها بيولوجيا بحوالى 90 مليون طن ، اما البقية وهى 10 ملايين طن فتضاف كسماد للتربة . ويمكن اعتبار عملية تثبيت النيتروجين فى المرتبة الثانية بعد عملية التمثيل الضوئى مباشرة ، وذلك من حيث اهميتها فى بقاء الحياة على وجه الكرة الارضية .

تآكل التربة وصيانتها منه : Soil Erosion and Conservation

تتآكل الطبقات السطحية لكل الاراضى بتأثير عوامل التعرية والماء وكذلك الرياح . وعلى وجه الخصوص تتعرض التربة للتآكل بسقوط الامطار والمياه الجارية ، اذا قورنت بالصخور او حتى الرمال ، فسقوط قطرات المطر على سطح التربة وطرقها له يعمل على تفتيت الحبيبات السطحية ويملأ ثقوب التربة بحيث يقل رشح الماء منها وبذلك يزداد انسيابه منها وانزلاقه فوقها . وهذا الماء المنزلق يحمل معه حبيبات التربة المفككة . وبتجميع الماء الجارى تتكون جداول صغيرة تعمل على شق التربة بعمق وتكوين اخاديد (شكل 10-8). ويزيل التآكل التركيب البنائى المرغوب فيه للتربة السمتية ، كما يزيل ما اختزن فيها من مركبات نيتروجينية ولا يبقى منها غير اخاديد تعوق العمل بها . وقد يؤدى التآكل الى ازالة جميع التربة وجرفها الى اسفل نحو الصخر الاصلى .

ويتوقف تآكل التربة اساسا على عاملين هما : كمية انزلاق الماء فوقها وحماية سطح التربة بنباتات او مواد نباتية . فتحمى الخصل النجيلية الكثيفة سطح التربة بحيث تظل ثقوبها مفتوحة فتزداد كمية ماء المطر التى تخترق التربة ، ويقل انزلاق الماء فوقها . كما تعمل النباتات ايضا على بطء انزلاق الماء غير الممتص وبذلك تحمى حبيبات التربة من الماء المتحرك . وتقوم الجذور بحماية



شكل (10 ـ 8) تحات (تعرية) التربة غير المسيطر عليه . لم تستطع النباتات من مقدمة الصورة ان تواجه تتابع او توالى التحات .

التربة لحد ما فتساعد على تماسكها ، الا ان غطاء كثيفا من النباتات الحية او الميتة فوق سطح التربة يعتبر اكثر أهمية من الجذور . والاوراق الغضة وكذلك الاوراق المتعفنة التى تغطى سطح التربة فى الغابات هى من الاسباب الرئيسية المباشرة لحمايتها ، وليس وجود الاشجار عليها . وقد يبدو من المتناقضات ان درجة تآكل الاراضى الصحراوية تعتبر غالبا اكبر كثير من نظيرها فى المناطق الرطبة ، الا ان هذا التناقض هو تناقض ظاهرى . فالجزء الاكبر من الاراضى الصحراوية لايغطى بأشجار لحمايته ، وعادة ماتمتص التربة (وليست الرمال) الماء ببطء شديد وفضلا عن ذلك ، فالبرغم من ندرة مياه الامطار الا انها تتدفق ويسيل معظمها بسرعة مسببا تآكل خطيرا . اما الرمال او الاراضى التى بها نسبة كبيرة من الرمال فإنها تمتص مياه الامطار بسرعة شديدة بحيث ان ماتسببه من تآكل لايعد مشكلة . ومع ذلك فإن عدم وجود تركيب متماسك يتسبب عنه مشاكل خطيرة بالنسبة لما تحدثه الرياح من تآكل . وفى الولايات المتحدة وبالذات فى الثلاثينات تآكلت الاراضى الجافة التى تركت بورا وذلك لتعرضها لفعل الرياح ، مما ادى الى التخلى عن وضع طبقة من التراب للمحافظة على النباتات ، والتى كانت تمارس فى الماضى ، واستعيض عنها باعقاب النباتات كالاوراق وغيرها للحد من تأثير الرياح .

والاراضى المستقرة التى توجد فى الاماكن الرطبة تغطى عادة بغطاء كثيف من اشجار الغابات او بكساء خضرى من المراعى يحول دون تآكل التربة الى حد كبير الا ان عمليات مثل الخدمات الزراعية والحريق والرعى الشديد تؤدى الى تغيير التربة تغييرا جذريا . ففى شرق الولايات المتحدة وجد المستوطنون الاوائل غابات كثيفة ومجارى مياه رائقة وتربة غنية ، كما وجدوا فى اواسط غربها اراضى المراعى التى تمتد لمسافة اميال عديدة وتغطى بالنجيليات المتوطنة الطويلة ، وكان التآكل طفيفا او معدوما ، وبعد ان اتسع الاستيطان وامتدت الزراعة نحو الغرب زاد التآكل متتبعا خط سير المحراث والمنجل . وبازالة الاشجار والنجيليات تعرضت التربة للتلف وذلك بفعل الرياح والامطار . وانهاك التربة بغرسها المستمر بالمحاصيل قد ادى الى نضوب ما فى التربة الميتة من مواد عضوية وسلبها من خصوبتها . وفى كثير من المناطق تجرف التربة الخالية من الحماية بفعل تآكلها بالماء (شكل 10ـ8) فيقل سمك المنحدرات وجوانب التلال وتدفن

اراضى الوادى الخصيبة تحت رواسب من طبقة التربة التحتية المتآكلة .

وفى العقد الرابع من القرن الحالى (1930ـ1940) زاد الاهتمام فى الولايات المتحدة بمشكلة تآكل التربة وضرورة المحافظة عليها ولاول مرة اتخذت عدة وسائل وقائية ، كما وضع كثير من المشاريع الحكومية موضع التنفيذ ، وكانت نتيجة معاينة التآكل سواء بالماء او بالرياح اثناء هذه الفترة لهاوقعهاالمؤثر. فقد وجد ان الخسارة السنوية من المراعى بسبب الرعى الشديد وكذلك من اراضى المحاصيل تبلغ 3 مليارات طن من التربة . ففى مساحة تبلغ 775,670,000 فدان او 41٪ من المساحة الكلية للارض فى الولايات المتحدة ، كان التآكل متوسطا ، اى ان الخسارة تتراوح بين ربع وثلاثة ارباع السطح الاصلى للتربة ، وفى مساحة 12٪ او 225,000,000 فدان كان التآكل شديدا وقدرت الخسارة بأكثر من ثلاثة ارباع التربة السطحية . اما حوالى 57,203,000 او 3٪ فقد اتلفت تماما ولم تعد صالحة للزراعة ، وفى كثير من اجزاء البلاد اضحت زيادة التآكل خطرا يهدد كلا من الاقتصاد والعمران .

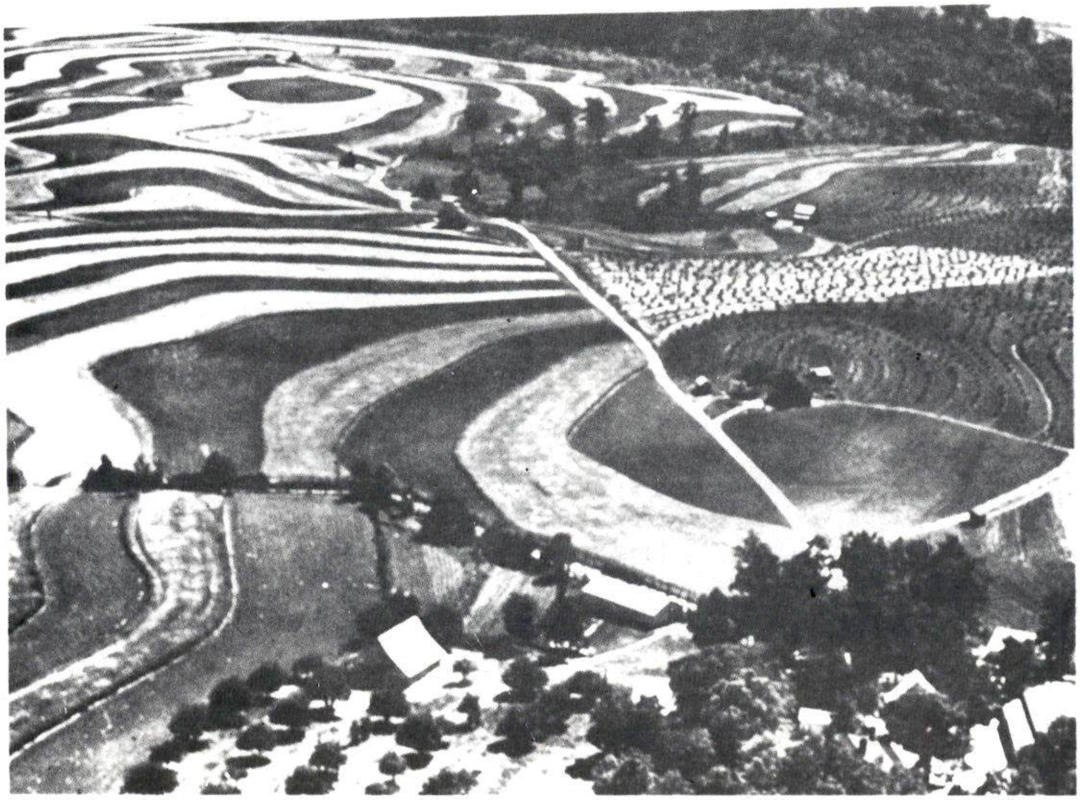
ومنذ الثلاثينات من هذا القرن تم احراز تقدم ملحوظ فى صيانة التربة ، ومازال مشروع تآكل التربة قائما كأحد المشاريع الهامة لصيانة التربة . ولايخدم مشروع صيانة التربة قاطنى الريف فقط بل يهم ايضا سكان المدن . فالمجتمع كله بما فى ذلك الفلاح يتأثر بالفيضانات المدمرة والعواصف الترابية ، ومجارى المياه الطينية والخزانات ذات الطفل وجوانب التلال المتآكلة .

طرق صيانة التربة Methods of Soil Conservation

تتطلب صيانة التربة المحافظة على خصوبتها ، كما تتطلب ايضا منع تآكلها او الاقلال من مستوى هذا التآكل الى الحد الادنى . ويتوقف جزء من خصوبة التربة على تدبير مايلزم لها ، كما هى الحال فى منع التآكل وكذلك فى زراعة المحاصيل البقولية ، والاتجاه السائد اليوم هو التركيز على استعمال الاسمدة التجارية للمحافظة على خصوبة التربة . ومنع تآكل التربة مسألة تختص فى المقام الاول بتدبير مايلزم لها ، غير ان خصوبة التربة شرط لنمو كساء خضرى لتغطية سطح التربة وحمايتها كما انها شرط يكفل المحافظة على محتواها من المواد العضوية .

ونمو النباتات لايحتاج مباشرة الى وجود المواد العضوية . فنمو كثير من النباتات يبلغ اقصاه فى المزارع المائية او الرملية (الفصل التاسع)، حيث لايوجد بها مواد عضوية . ومع ذلك تقوم المواد العضوية مقام مستودع يدخر فيه المواد المغذية اللازمة للنباتات خصوصا عناصر النيتروجين والكبريت والفوسفور ، وقد توجد معظم هذه المواد المغذية على صورة مقيدة وثابتة ، وباستعمال النباتات لها تتحلل المواد العضوية فتتحرر المواد المغذية ويتاح للنبات استغلالها ، واهم دور تقوم به المواد العضوية عادة كما ذكرنا فى الفصل التاسع ، هو تحسين التركيب البنائى الدقيق للتربة وذلك بتجميع دقائق التربة الى حبيبات متوسطة الحجم . ويؤدى هذا التكتل الى ترك فراغات كبيرة بين هذه الحبيبات يمر خلالها ماء المطر اثناء اختراقه التربة . وبذلك يزداد الرشح وتهوية التربة ، وفى الوقت نفسه يقل انزلاق الماء على سطحها . وبالاضافة الى ذلك تعمل هذه الحبيبات المتجمعة على سد المسام الموجودة على سطح التربة فيقاوم هذا السطح طرق قطرات المطر التى تسقط عليه ، كما ان هذه الحبيبات لايسهل تحريكها بفعل الماء الجارى كما هى الحال فى الدقائق الصغيرة المنفردة .

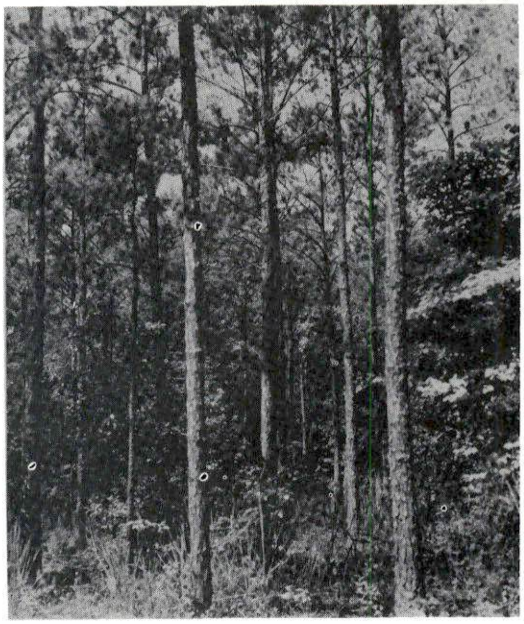
والمحاصيل الزراعية مثل الذرة ، والتبغ ، والقطن وكذلك البطاطس وتعرف عادة باسم المحاصيل ذات السطور raw crops قد تعطى عائدا عاليا لكل فدان . ونظرا لقيمة هذه المحاصيل تضاف اليها كميات كبيرة نسبيا من الاسمدة وذلك للمحافظة على خصوبة التربة . ومع ذلك فانتاج هذه المحاصيل ذات السطور تتخلف عنها تربة تتعرض بشدة الى التأثير المباشر لمياه الامطار الساقطة ، كما ان هذه المحاصيل تعمل على نضوب التربة من موادها العضوية ، وبذلك يتلف التركيب البنائى لها ، ويتخلف عنها تربة يسهل تآكلها ، وتساعد كل من الزراعة الكنتورية contour farming والزراعة على مصاطب strip cropping الى التقليل من التآكل نظرا لان الخطوط والمصاطب التى توضع على دوائر عبر الحقول (شكل 10ـ9) تؤدى الى الابطاء من انزلاق المطر الساقط ، كما تزيد من عملية الرشح . وفى جنوبى الولايات المتحدة استغلت المصاطب الكونتورية على نطاق واسع (وتعنى الاحزمة الخضراء) وبها ينزلق الماء بخفة على طريق مائى مغطى بالنجيليات ويقع عند احد اطراف الحقل . ومع ذلك ولكى يتم التحكم بطريقة فعالة وتامة فى تآكل اى



شكل (10 ـ 9) الاحزمة الخضراء فى جنوب كارولينا . صفوف من الاشجار تتبعها احزمة نجيلية ومحاصيل حبوب بالتبادل . يكون من شأن هذا الترتيب زيادة نفاذ (تغلغل) الامطار فى التربة مما يقلل من فعل تحات التربة عن طريق جريان الماء على سطحها .

ارض تنحدر برفق يلزم اقامة وتشييد غابة تترك وشأنها دون ان تمس او تغطيتها بغطاء كثيف من النجيليات التى تنمو نمواً شديدا ، او تغطيتها بغطاء من النجيليات ونبات بقولى من شأنه ان يكون خصلا . والنجيليات تكون غطاء افضل بكثير من غطاء النباتات البقولية خصوصا فى التربة الخصبة ، الا انه يفضل خليط من البقوليات والنجيليات نظرا لما تضيفه الاولى للكساء الخضرى من نيتروجين رخيص الثمن بفعل البكتريا العقدية ، وهذه الاراضى التى تستغل لزراعة الدريس او كمراعى تحتاج الى تدبير مايلزم لها من عمليات مثل مقاومة الحشائش وتنظيفها ، وكذلك التحكم فى الرعى حتى لاتضعف الحقل ويقل الغطاء النباتى .

والعائد من اراضى المراعى لكل فدان يعتبر قليلا نسبيا . ولحسن الحظ فإن الكميات الكبيرة من المواد العضوية النشطة التى تتخلف فى التربة لفترة سنة او سنتين بعد حرث الخصل تعمل على حفظ التركيب النباتى للتربة ، كما تعمل على حفظ الرشح ، وتؤدى الى الاقلال من التآكل بدرجة تكفى للقيام بزراعة محاصيل إكثر قيمة مثل محاصيل السطور . حينئذ يمكن اتباع نظام آخر فى زراعة المحاصيل هو نظام الدورات crop rotation فزراعة الاراضى بالمحاصيل المختلفة وعلى سنين متتالية يساعد على مقاومة الحشائش والامراض النباتية ، وكذلك الحشرات ، كما يساعد على حفظ خصوبتها ، والاقلال من التآكل ، كما يساعد على زيادة عائد

شكل (10 ـ 10) (اليسار) حقل كان مخصصا فى زراعة القطن فى الألاباما فأهمل وتعرت تربته بالتحات ثم زرع باشجار الصنوبر Loplolly pine (Pinus taeda) فى عام 1927 (إلى اليمين) صورة للحقل بعد 42 عاما

الانتاج فى الاراضى القابلة للزراعة . اما الاراضى ذات المنحدر الشديد ، او التى تزرع بسبب خشونة تربتها فيلزم تركها كمراع دائمة او تحويلها الى غابات . والارض الجيدة نوعا ما اما ان تزرع فى دورة من اربع او خمس سنوات بالمحاصيل ذات السطور مثل الذرة او القطن او نبات ينتج الحبوب مع خليط من النجيليات والنباتات البقولية او تزرع فى دورة من اثنتين اوثلاث سنوات بنبات ينتج دريس ونبات من نباتات المراعى . وتزرع الارض الاجود منها بمحصول كثيف من المحاصيل ذات السطور لمدة سنتين او قد تستغل لزراعة محصول من انواع البازلاء او فول الصويا قبل ان يعاد شغلها بالخضر لفترة لاتزيد عن سنة او سنتين . واخيرا ففى اجود الاراضى المستوية تقريبا وهى التى تعرف باراضى حزام الذرة corn – belt قد يزرع الفلاح الذرة لعدة سنوات على التوالى . ويتوقف ذلك على التسميد الجيد ومقاومة الآفات بالمبيدات الكيميائية واعادة سيقان الذرة كمواد عضوية الى التربة . وذلك للمحافظة على الانتاج .

واذا لم يتم الحفاظ على التربة تنضب من المعادن الاساسية وكذلك من المواد العضوية . وبزيادة استنفاد التربة يزداد نضوبها وتصبح اكثر عرضة للتآكل . ويزيل هذا التآكل الطبقة السمتية للتربة ويعجل بتلفها . وقد تظل الارض المستنفذة والمتآكلة بشدة قابلة للاستصلاح . اذا كانت الطبقة التحتية للتربة ذات عمق كاف وكان تركيبها يسمح باستغلالها . ويمكن تسوية الاخاديد وتسميد التربة وزراعتها بالنجيليات او النباتات البقولية او الغابات والشكل (10ـ10) يبين اعادة حقول القطن المهجورة الى حالتها الطبيعية بعد غرسها بالغابات وفى بعض الاراضى امكن الحصول على تحسينات تستحق المشاهدة ، الا ان هذه التحسينات تتطلب عناية مستمرة وذلك لحفظ التربة فى حالة انتاجية عالية .

وفقد العناصر الغذائية من التربة لا يؤدى إلى هبوط انتاج المحاصيل فحسب بل إنه قد يؤثر على صحة الحيوانات التى تتغذى على النباتات التى تنمو فى أراضى منهوكة تم استنزاف عناصرها . فقد أمكن التعرف على أمراض العظام التى تصيب الماشية فى مناطق ينقص تربتها عنصرا الكالسيوم

والفوسفور ، كما أن أمراضا أخرى من أمراض النقص تتسبب عدم كفاية ما يستغل من عناصر الحديد والكوبلت والمنغنيز والنحاس ، وكذلك اليود . وموضوع نقص التربة من عناصرها المغذية وتأثيره على صحة الإنسان يعتبر من الأهمية بمكان وقد درس دراسة وافية .

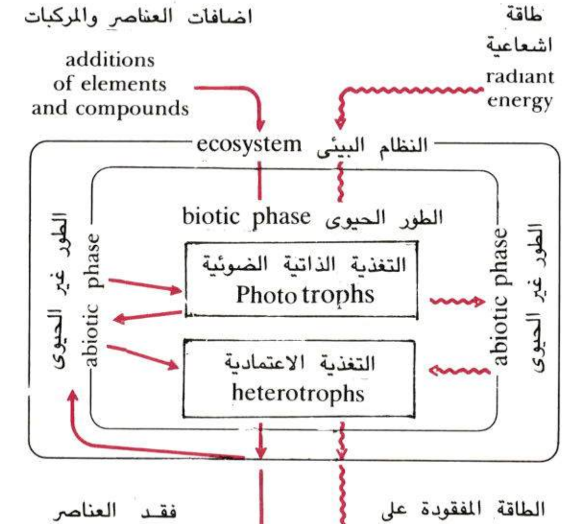
وتعول التربة الانسان وكل الحيوانات الأخرى ، كما تعول كل النباتات التى تعيش على اليابسة . فبدون التربة تصبح مساحات اليابسة على كرتنا الأرضية أرضا قاحلة خاوية . والمحافظة على التربة وإقامة الزراعة على أسس علمية ثابتة واستغلال الارض بكفاءة عالية يعتبر من المسائل العالمية الهامة . والنتائج المترتبة على عدم التصدى لتآكل التربة أصبح واضحا وجليا فى معظم مناطق افريقيا والصين والشرق الاوسط ، ومنطقة البحر المتوسط والهند وكذلك امريكا اللاتينية ، ففى أجزاء عديدة من العالم تحولت الأرض الزراعية الغنية إلى صحارى من الصخور والرمال المتنقلة . فعدم التصدى لتآكل التربة قد يؤدى الى انقراض قوم أو ثقافة ، بما يشبه ، بكل تأكيد ، ما تفعله الحروب الحديثة .

النظام البيئى : The Ecosystem

ذكرنا عدة أمثلة توضح العلاقات المتعددة بين الكائنات الحية وبين بيئاتها غير الحية . ويمكن جمع هذه الصلات المتداخلة فى شرح مقتضب لما يعرف بالنظم البيئية . فالنظام البيئى ecosystemهو وحدة وضعت لتعنى حشدا من الكائنات النباتية والحيوانية تعيش معا ، كما تعنى أيضا الوسط غير الحى الذى تحيا به . وهذه الكائنات تتفاعل فيما بينها ، كما أنها تتفاعل مع البيئة التى تحيا فيها .

وقد تشغل هذه الوحدة التصورية أى حجم . فهذا المحيط الحيوى Biosphere وهو هذا الجزء من كوكبنا الذى يشمل الهواء والماء والتربة ، وتقبع فيه الحياة ، يمكن اعتباره نظاما بيئيا واحدا ، ففى هذا النظام البيئى يمكن فحص قضايا عديدة مثل دورة الكربون أو الفوسفور وذلك على نطاق عالمى . ويمكن التعرف على طرازين عامين من النظم البيئية وهما : النظام البيئى الارضى كالتندرا مثلا ، والنظام البيئى المائى كالمحيط . إلا أنه لكى يسهل دراسة هذه النظم يلزم تقسيم هذه النظم الى وحدات صغيرة مثل الغابة أو البحيرة ، أو فسحة من أرض مغطاة بنجيليات متوطنة ، أو حقل تنمو به أعشاب أو مستنقع به ماء عذب أو ملحى أو حوض مائى به حيوانات ونباتات خضراء أو كبسولة بها رجل فضاء ، أو اية منطقة محددة ، سواء أكانت طبيعية أو تناولتها يد الانسان بالتعديل . وتشمل هذه الوحدات كائناتها الحية كما تشمل بيئاتها غير الحية .

ويبين الشكل (10_11) نموذجا لأحدى النظم البيئية ويشمل هذا النظام الجزء الحيوى Biotic portion أو الطور الحيوى Biotic phase (وهى كائنات ضوئية التغذية أو غير ذاتية التغذية heterotrophic)كما يشمل البيئة الطبيعية . ويمكن اعتبار الطور الاخير مكونا من : (1) العوامل الفيزيائية مثل الطاقة الاشعاعية ودرجات الحرارة لكل من الهواء والتربة والرياح والحريق . (2) الطور غير الحيوى abiotic phase الذى يحتوى على مواد غير حية سواء اكانت عناصر او مركبات ولها تأثير مباشر على الجزء الحيوى . ويشمل هذا الجزء عدة مواد مثل الماء ، والمعادن ، والغازات الموجودة فى الهواء الجوى ، وكذلك المواد العضوية غير الحية . ويحتوى الطور الحيوى على جميع الكائنات الحية . ففى غابة ناضجة متساقطة الاوراق (النفضية) مثلا ، قد يشمل الطور الحيوى الاشجار والشجيرات وكذلك النباتات العشبية والسراخس ، والحزازيات التى تنمو فى ارضية الغابة ، كما يشمل الحشرات التى تقوم بعملية تلقيح الازهار والحشرات التى تتغذى على الاوراق والبذور والثمار



شكل (10 _ 11) مخطط عام للنظام البيئى ecosystem

والخشب ، والقلف والعصارة وما يتغذى على الرحيق . كما يشمل الاحياء التى تستهلك الروث ونوع الغراب المعروف بالزاغ الجيفى الذى يستهلك الجيفة وكذلك العث mites ، والبق sow—bugs ، والقواقع snails ، والخنافس beetles ، والنمل ants ، وغيرها من الحشرات وكذلك الدودة الالفية الارجل millipedes ، والدودا worms والبروتوزوا protozoa والبكتريا والفطريات التى تحلل decay bacteria and fungi نفايات ودبال الغابة وكذلك النباتات والحيوانات المتطفلة ، وكذلك الناموس والزنابر والدودة المئوية الارجل والعناكب والطيور والثدييات واكثر من 3000 نوع من الكائنات الحية التى تعيش معا داخل نظام بيئى واحدة كل ذلك بالاضافة الى البيئة الطبيعية ، وعليه فان النظام البيئى يعتبر وحدة تتفاعل مكوناتها فيما بينها ، لذلك فان دراسته تتطلب فحصه على الطبيعة كما هو .

سريان الطاقة عبر النظام البيئى : Energy Flow through Ecosystems

كل الطاقة الاشعاعية التى تحصل عليها الارض تأتى اساسا من الشمس . ويتحرر بعض هذه الطاقة نتيجة لتحلل المواد ذات النشاط الاشعاعى ، ولكن هذه الطاقة تعتبر يسيرة لا يعتد بها اذا قورنت بالطاقة الشمسية ، فالطاقة الاشعاعية التى تصل الى الهواء الجوى الخارجى المحيط بالارض تساوى فى دقيقة واحدة ما يحويه 375 مليون طن من الفحم . وحوالى 60٪ من هذه الطاقة ينعكس أو يمتص بفعل طبقات الهواء الجوى أو السحب ، وبذلك تنخفض كمية الطاقة التى تصل الى الارض انخفاضا شديدا . ولا تستغل الكائنات الحية بطريقة مباشرة الا جزءا يسيرا من هذه الطاقة المتبقية ، أما الجانب الاكبر منها فيعمل على رفع درجة حرارة الصخور والتربة أو تمتصه مياه البحار أو تعكسه . ويعتبر هذا الجزء من الطاقة الاشعاعية مهما ، حيث يقوم بعملية التبخر التى تؤدى الى تحريك الماء ودورانه . وبهذه الطريقة تتمكن النباتات الارضية والحيوانات وكذلك المدن من استغلال الماء ، كما اننا نستغل ذلك بطريقة غير مباشرة فى الحصول على القوى المائية لانتاج الكهرباء وغيرها من الاغراض .

ومن الكمية الكلية للطاقة الشمسية التى تصل الى الارض لا يختزن منها فى نواتج عملية البناء الضوئى غير 1×10^{18} كيلو سعر سنويا . وتبلغ هذه الكمية حوالى 0,2٪ من الطاقة الشمسية الكلية التى تصل الى الهواء الجوى الخارجى المحيط بالارض ، الا انها تعادل على وجه التقريب ما يبذل من طاقة لانتاج حوالى 200 مليار طن من المواد السكرية . وحتى فى الظروف المناسبة يندر ان يستغل النبات فى عملية البناء الضوئى اكثر من 2٪ من الطاقة الشمسية . وبهذه العملية تتحول الطاقة الاشعاعية الى طاقة كيميائية تختزن فى جسم النبات الاخضر . الا ان عمليات تحويل الطاقة بخلاف عمليات تحويل المادة ، لا تتم فى دورات . فبعد ان يتم تثبيت الطاقة بيولوجيا تنحدر فى سريانها ، وفى اثناء ذلك تتحول الى طاقة حرارية وفى النهاية تتبدد فى الفراغ . ومع ان قانون بقاء الطاقة ينص على عدم فنائها الا ان النظم الحيوية تفقد جزءا من طاقتها على شكل طاقة حرارية .

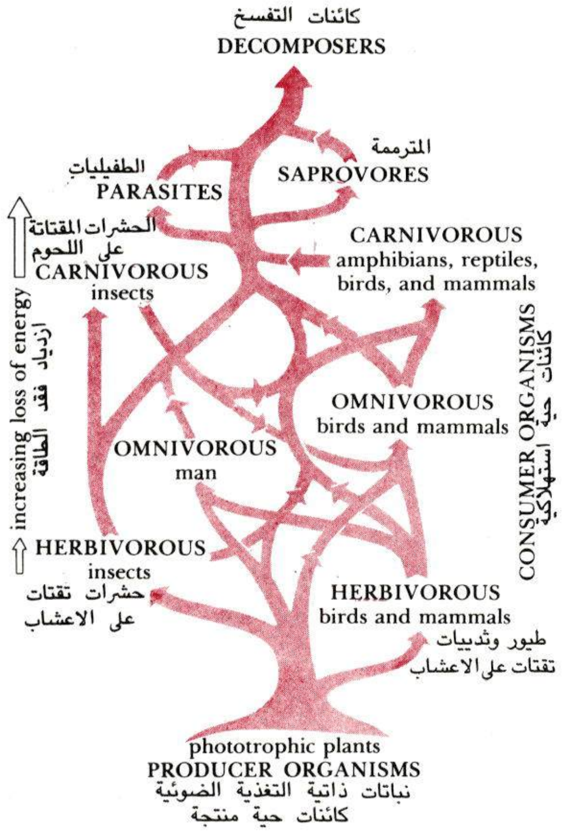
تسلسل الغذاء : Food Chains

تقوم عملية البناء الضوئى بتثبيت الطاقة ، وينال كل جزء حى حصته منها ، فتسرى هذه الطاقة من كائن حى الى آخر فى حلقات يطلق عليها حلقات الغذاء food chains وتتكون كل حلقة منها من كائنات حية ، وكل طراز من هذه الكائنات يتغذى على الطراز الذى يسبقه فى سلسلة الحلقات المتتالية . وتتكون قاعدة هذه السلسلة الغذائية من كائنات ضوئية التغذية تعتبر منتجة للطاقة producer organisms ويتراوح حجمها من نباتات مائية ذات خلية واحدة الى اشجار عملاقة تعيش فى الغابات . اما الكائنات المستهلكة للطاقة consumer organisms مثل الحيوانات وكذلك النباتات غير ذاتية التغذية ، فيمكنها استغلال مواد الكائنات المنتجة للطاقة سواء للحصول منها على الطاقة أو لبناء جسمها . ومع ذلك ، ونظرا لان ضوئيات التغذية لا تصنع الغذاء فقط بل تستهلكه ايضا ، لذلك فانها تعتبر مستهلكة للطاقة كما انها تعتبر منتجة للطاقة ايضا ، وهى حقيقة لايتم التسليم بها دائما . وتعتبر العواشب (الحيوانات آكلة الاعشاب) herbivorous animals أهم المستهلكات الاساسية سواء للنباتات أو نواتج النباتات ، وتشمل هذه الحيوانات كل الحيوانات ذات الحوافز مثل الابقار ، والاغنام ، والغزلان وكذلك الارانب والسناجب ومعظم القوارض الاخرى . ويوجد آلاف من الحشرات التى تتغذى على النباتات وكذلك عديد من الطيور التى تتغذى على بذورها أو ثمارها . وأكثر من نصف جميع انواع الحيوانات سواء كانت فقاريات أو لافقاريات تحصل على غذائها مباشرة من النباتات . وتعتبر بعض هذه العواشب (آكلة الاعشاب) herbivores بدورها غذاء للواحم carnivores (وهى الضوارى) predators التى لا تتغذى الا على لحوم الحيوانات ، كما تعتبر غذاء للقوارض omnivores مثل الانسان الذى يتغذى على غذاء خليط من الحيوانات والنبات . وتحتل اللواحم المرتبة الثانية أو الثالثة بين المستهلكات . فالمن aphid وهو من العواشب يعتبر غذاء للخنافس التى تأكلها الطيور الصغيرة التى تعتبر بدورها

فرائس للضوارى الكبيرة سواء اكانت طيورا أو ثدييات mammals وأى كائن حى يحتل مكانا فى سلسلة الطعام يمكن أن يكون فريسة للطفيليات سواء اكانت خارجية أو داخلية . وبالاضافة الى ما سبق يوجد الروامم saprovores وهى حيوانات صغيرة تتغذى على المواد العضوية الميتة مثل البقايا النباتية والحيوانية . وتشمل الروامم دود الارض earthworms ، والدود الالفى الارجل millipedes والقشريات الصغيرة small crustaceans والقواقع snails ، والنمل الابيض terimtes ، والعث mites ، والتربس thrip ، وكذلك انواعا كثيرة أخرى . وقد تحتل هذه الروامم أى مستوى فى سلسلة المستهلكات سواء فى أولها أو فى آخرها.

والحشرات والطيور والديدان والقوارض والزواحف والبرمائيات والاسماك وجميع الحيوانات الاخرى لها وضعها فى سلسلة الغذاء ، اما كمستهلكات اساسية او كحلقات وسطية . او كمستهلكات لنواتج عملية البناء الضوئى ولكن بطريقة غير مباشرة . وبعد موتها تتحلل اجسام جميع الكائنات سواء اكانت منتجات او مستهلكات وتصبح طعاما للعوافن decomposers (وهى البكتريا والفطريات الرمية) التى تحولها الى مواد ابسط من المواد التى توجد فى اجسام هذه الكائنات وتوجد هذه المواد اما فى التربة او فى الهواء الجوى .

وقد توجد سلاسل اخرى من الغذاء ولكن اكثر تعقيدا من السابقة . فاذا امعنا النظر فى سلسلة معينة من سلاسل الطعام food chain وهى النجيليات المعمرة perennial grasses وغيرها من الاعشاب herbs وفأر المروج meadow – mouse وابن عرس weasel والبومة owl . فالمنتجات لاتطعم الفئران فقط ، بل تطعم ايضا الحشرات واللافقاريات invertebrates الاخرى ، والفئران لايفترسها ابن عرس فقط بل الضوارى ايضا ، مثل الذبابة قصيرة الذيل short – tailed shrew وابن عرس لايتغذى على الفئران فقط بل على الحشرات ايضا وهذه بدورها تلتهمها الصقور hawks والبوم owl . ونظرا لوجود هذه التعقيدات وغيرها فانه يطلق عادة على مجموع العلاقات المتشابكة لمجموعة النبات والحيوان التى تحيا معا بشبكة الغذاء food web (شكل 10_12).



شكل (10 ـ 12) رسم تخطيطى مبسط لشبكة التغذية

وبالنسبة لسريان الطاقة فإنه يطلق على الاجزاء المختلفة لاى سلسلة من سلاسل الغذاء اسم مستويات الغذاء trophic levels . وعليه فإن النباتات الخضراء تمثل المستوى الغذائى الاول ، والعواشب من الحيوانات تمثل المستوى الغذائى الثانى . واللواحم الاساسية تمثل المستوى الغذائى الثالث وهكذا . وعند كل مستوى من هذه المستويات يتبدد جزء كبير من الطاقة فى عملية التنفس ويخرج من النظام البيئى على شكل حرارة . وجزء من الطاقة المختزنة لايستغل فى عملية تمثيل الغذاء . كما انه لايستغل ايضا كطعام . ونتيجة لذلك فإن كل وحدة من وحدات الغذاء الموجودة اصلا فى النسيج النباتى تعول كميات من البروتوبلازم الحى تقل تدريجيا فى المستويات الغذائية العليا . فالبقرة او الشاه مثلا تستهلك فى كل وجبة من وجبات

غذائها مايقدر بحوالى 10 سعر ، لتنتج كمية من اللحم تقدر بحوالى واحد سعر . ونظرا لهذا النقص المستمر فى الطاقة فى كل مستوى غذائى لايحتوى النظام البيئى الا على عدد محدود من المستويات الغذائية ، ونادرا مايتجاوز هذا العدد خمسة مستويات . ويترتب على ذلك ان الطاقة التى يتم تثبيتها بعملية البناء الضوئى تعود ثانية الى الوسط على شكل طاقة حرارية وذلك عند مستويات غذائية مختلفة وعلى ذلك يمكن اعتبار كل الكائنات الحية اطوارا تشترك فى تحويل الطاقة الاشعاعية الى طاقة حرارية . فطالما وجدت عملية البناء الضوئى استحدثت طاقة جديدة من نبعها الاصلى وهو الشمس ، ثم خزنت هذه الطاقة فى المستويات الغذائية المختلفة . فعنصر الكربون والعناصر الاخرى تدور ويتكرر استعمالها مرات ومرات ، اما الطاقة فإنها تتبدد باستمرار وتفقد على هيئة طاقة حرارية فلا تسترد وليس لها دورة كدورات المواد . فاذا خمدت الشمس وذلك بعد ملايين السنين من الآن انقطع هذا المدد من الطاقة وتوقفت الحياة على سطح الارض .

بعض العلاقات المتبادلة : الطور الحيوى والوسط غير الحى
Some Interrelationships: Biotic Phase and Nonliving Environment

نتيجة للنشاطات المتعددة للعوافن فإن العناصر التى يتكون منها جسم النبات والحيوان تعود ثانية الى الطور غير الحيوى .فتمتص جذور النباتات العناصر المعدنية غير الغازية وتدور هذه العناصر ثانية فى سلاسل الغذاء . وهذه الدورات المتكررة لاتضيف ، كما انها لاتنقص من المحتوى الكلى للعناصر المعدنية الموجودة فى النظام البيئى . ومع ذلك فقد تتعرض المكونات غير الحيوية فى اى نظام من النظم البيئية الى اضافة او فقد من خارج النظام نفسه . فمياه الامطار وعنصر النيتروجين الموجود فى مياه الامطار والثلوج وكذلك الذى يتكون نتيجة لعملية تثبيت النيتروجين بالطريقة الحيوية biological fixation وطريقة الغبار الذرى المتساقط atomic fallout والمعادن التى تتحرر من جراء تفتيت الصخور التحتية ومايقوم به الانسان من تحورات فى النظام البيئى ومياه الرى ، والاسمدة كلها اضافات تطرأ على الطور غير الحيوى . اما الفقد فيشمل فقد الماء فى مجارى الانهار او صرفه الى مستوى الماء الارضى او تبخره بعملية التبخير النتحى . وتفقد المعادن فى الغبار الذى تحمله الرياح ، او تفقد على هيئة مواد مذابة ، او على هيئة دقائق صغيرة فى الماء الذى يتم تحريكه باستمرار وكذلك فى المحاصيل التى يتم حصادها . والعناصر الاساسية فى طورها الغازى البارز مثل الكربون والاكسجين ، لاتدور فى اى نوع معين من النظم البيئية ، الا انها قد تتبدد فى الهواء الجوى ، ثم تعود ثانية من هذا المصدر الى هذه النظم .

وبالرغم من اختلاف مكونات اى نظام من النظم البيئية ، وبالرغم من انها فى حالة تغير مستمر الا ان معظم النظم البيئية الطبيعية فى حالة مستقرة نسبيا وذلك بالنسبة لاحتفاظها بمستوياتها الانتاجية وكذلك بالاتزان بين الكائنات الحية والبيئة . وقد تحدث تغيرات فى هذه النظم ولكنها تغيرات بطيئة . الا ان الانسان قد عمل على تطوير النظم البيئية على نطاق واسع فى فترات زمنية قصيرة نسبيا . ففى كثير من النظم البيئية التى يقوم الانسان بتدبيرها وادارتها مثل الاراضى المنزرعة . والغابات التى تستغل استغلالا مناسبا بانتقاء قطعها يمكن المحافظة على استقرارها وانتاجيتها لفترات زمنية طويلة . الا ان الانسان غالبا مايقوم بتحور النظم البيئية لغير صالحه لانه يعجز عن ادراك ماتسببه افعاله من تأثيرات كلية على المدى البعيد فاخلاء الغابة المنحدرة ذات التربة الفقيرة والعمليات الزراعية غير المناسبة ، واستعمال الحرائق بلا تمييز ، كل ذلك يؤثر على الدورات الطبيعية ويسبب الإسراع فى فقد المغذيات المعدنية وهبوط انتاجيات الاراضى . فأى غابة من الغابات المتساقطة الاوراق فى هذه المقاطعة اذا تركت وشأنها فانها تحصل على عنصر النيتروجين من مياه الامطار والجليد بمعدل يبلغ (4) ارطال تقريبا لكل فدان فى السنة وقد يستمر ذلك لعدة سنوات. وطبيعى ان الغابة تفقد كمية قليلة من النيتروجين عن طريق مياه الصرف . اما اذا قطعت اشجار هذه الغابة ورش الكساء الخضرى الباقى منها بمبيدات الحشائش لمنع نمو النباتات فان هذه المنطقة تفقد 150 رطلا من النيتروجين لكل فدان فى كل سنة عن طريق مياه الصرف .

والقاء القمامة فى مجارى المياه او فى البحيرات او فى المحيطات لايسبب تغيرات عنيفة فى النظم البيئية المائية

فحسب ، بل انه يؤدى الى الاستمرار فى فقدان المعادن من النظم البيئية الارضية . فقد قدر ان مايفقد من عنصر الفسفور وحده فى البحار ، نتيجة لالقاء قمامة المدن العظيمة او نتيجة لانزلاق الماء المحمل بالمعادن من المناطق الارضية الكبيرة ، يبلغ 3,5 مليون طن فى العام . ويغوص عنصر الفوسفور فى قاع المحيطات فلا يستفاد منه . وصرف المياه من المستنقعات او ملئها بها قد ينتج ايضا ارضا صالحة للزراعة او مكانا للتوسع الحضرى ، الا انه يؤدى فى الوقت نفسه الى فقد الغذاء والمأوى للحياة البرية ، كما يؤدى الى فقد مناطق هامة لتخزين الماء . ومعاملة النظم البيئية بالمبيدات الحشرية قد لايقتل الحشرات غير المرغوب فيها فحسب بل يبيد ايضا الحشرات المفترسة insect predators واللواقح insect pollinators كما انه قد يسبب تفشى اوبئة حشرية جديدة . والنفايات او بقايا المواد ذات النشاط الاشعاعى التى تضاف الى النظم البيئية قد تتركز عند مستوى معين من مستويات سلاسل الطعام لتصبح خطرا بالغا على الانسان . وادخال انواع اجنبية الى نظم بيئية متوطنة تؤدى الى تخلخل عنيف بها ، كما حدث نتيجة لادخال الارنب الى استراليا . والقضاء على الضوارى ، فى مشروع التحكم فى الضوارى ، قد يؤدى الى افراط فى عدد العواشب (آكلة الاعشاب) herbivores فى الرعى ونضوب النباتات التى تنمو فى البيئة التى تعيش فيها .

وغالبا مايقدم اقتراح تلو اقتراح بالعناية بالاراضى الاستوائية خصوصا تلك التى تنمو فيها الغابات حتى تصبح مصدرا لغذاء الملايين من سكان الكرة الارضية . الا ان كثيرا من الاراضى الاستوائية اما انها تعانى من نقص المعادن او انها فى حالة متآكلة تآكلا شديدا ، كما ان غاباتها قد تم استغلالها على نطاق واسع ، ومن اوضح الامثلة للآثار الضارة التى يسببها تدخل الانسان فى نظام بيئى راسخ ماحدث فى المناطق الاستوائية ذات الامطار الغزيرة عند اخلائها من نباتاتها . فالغابة الاستوائية فى حالة توازن دقيق ، فنواتج الغابة تعود الى تربتها ومعادنها ويتكرر دورانها اى انها تعتبر من النظم البيئية المغلقة . فاذا ماقطعت الغابة تعرضت تربتها للشمس الاستوائية فتسرع درجة الحرارة العالية فى تحليل المواد العضوية وتعمل الامطار الغزيرة الاستوائية على اكتساح المعادن وتصبح التربة بعد بضع سنين غير منتجة فيتخلى الانسان عن زراعتها .

والانسان كغيره من الكائنات الحية الاخرى يتأثر بالبيئة التى يعيش فيها ، فلا يوجد اى كائن حى يعيش مستقلا بمفرده فى الطبيعة . ومكونات النظام البيئى للانسان هى الضوء والهواء والماء والتربة والنباتات والحيوانات والانسان . وهى جميعها ترتبط ببعضها ارتباطا وثيقا واى خلل فى احد مكوناتها يثير سلسلة من التفاعلات تؤثر على المكونات الاخرى ولا يمكن للانسان ان يتحمل سلسلة التفاعلات الضارة لا لان المصادر على سطح الكرة الارضية فى حالة نضوب فحسب بل لان الزيادة الهائلة فى عدد السكان تتطلب مزيداً من الحكمة والخبرة فى تدبير المصادر التى تحت يد الانسان . فعلى الانسان ان يهتم اهتماما بالغا بنظامه البيئى ككل على امل ان يتوصل الى توازن يحقق بقاءه حيا .

الخلاصة : SUMMARY

1 ـ كثير من التحولات الاساسية التى على شكل سلاسل والتى تقع فى دنيانا الطبيعية تشتمل على مواد عضوية واخرى غير عضوية . وتدور هذه المواد فى فلك دائرى .

2 ـ تشمل دورة الماء تحركه على هيئة بخار ماء من اليابسة والبحار الى الهواء الجوى وعودته الى اليابسة على هيئة مطر . وحوالى ثلثى مياه الامطار التى تقع على اليابسة تستغلها النباتات البرية او المنزرعة التى تغطى الكرة الارضية وتعود هذه الكمية ثانية الى الهواء الجوى بعمليتى التبخير والنتح التبخيرى . اما الثلث الباقى من مياه الامطار فإنه يساهم فى مجارى الانهار . والماء الذى لا يتم سحبه من مجارى الانهار او الذى لا يتبخر ، يذهب الى المحيط ليخزن فيه قبل ان يعود ثانية الى الهواء الجوى .

3 ـ معظم العناصر التى يحصل عليها النبات من التربة تعود اليها ثانية نتيجة للنشاطات المتعددة التى تقوم بها البكتيريا والفطريات وعلى ذلك تدور هذه العناصر فى الطبيعة فى فلك دائرى .

2 ـ ان تركيز غاز ثانى اكسيد الكربون فى الهواء الجوى قليل ، وتعمل النباتات الخضراء على سحبه منه تدريجيا بعملية البناء الضوئى ثم يعود هذا الغاز ثانية الى الهواء الجوى عبر مسالك مختلفة ، اعظمها اهمية هو عودته خلال عملية التنفس التى تقوم بها البكتيريا والفطريات المحللة .

5 ـ تعتبر دورة النيتروجين اكثر تعقيدا من دورة الكربون نظرا لان النباتات الخضراء فيما عدا بعض انواع من الطحالب الخضراء المزرقة لا تستغل غاز النيتروجين مباشرة ولا يستغل عنصر النيتروجين الموجود فى المواد العضوية الا بعد ان تؤثر عليه الكائنات الحية الموجودة فى التربة او فى الماء . فالنباتات تستغل عنصرالنيتروجين الذى يتحد بعنصرى االهيدروجين والاكسجين .

6 ـ يتحول النيتروجين العضوى الموجود فى التربة الى غاز النشادر بفعل بكتيريا النشدرةويتأكسد غاز النشادر الى املاح النيترات بفعل بكتيريا النيترة (النترجة) وتستغل الطاقة التى تحصل عليها بكتيريا النيترة فى تصنيع غذائها ولا تعمل عمليتا النشدرة والنيترة على زيادة كمية النيتروجين الموجودة فى التربة . الا أن هاتين العمليتين تحول عنصر النيتروجين الى صور يتمكن النبات من استغلالها .

7 ـ تفقد التربة عنصر النيتروجين نتيجة لعمليات التآكل ونزع النيتروجين denitrification وزراعة المحاصيل والرعى والغسيل وكذلك الحرائق .

8 ـ يتجدد عنصر النيتروجين فى التربة باضافة الاسمدة والمواد العضوية وبسقوط الامطار والثلوج وكذلك بالنشاطات المتعددة لبكتيريا تثبيت النيتروجين والخيطيات وكذلك الطحالب الخضراء المزرقة . وأهم هذه البكتيريا هى التى تعيش عيشة تكافلية فى جذور النباتات البقولية . وتعتبر الخيطيات ايضا من النباتات التكافلية الا انها تعيش فى جذور النباتات الزهرية غير البقولية .

9 ـ يحدث التآكل غالبا بمعدل سريع عقب زراعة التربة والطرق التى تتخذ لمنع االتآكل والمحافظة على خصوبة التربة ، تشمل زراعتها بالدريس او نجيليات المراعى وغرسها بالغابات و اتباع الدورات الزراعية والتسميد او غرسها غرسا كونتوريا .

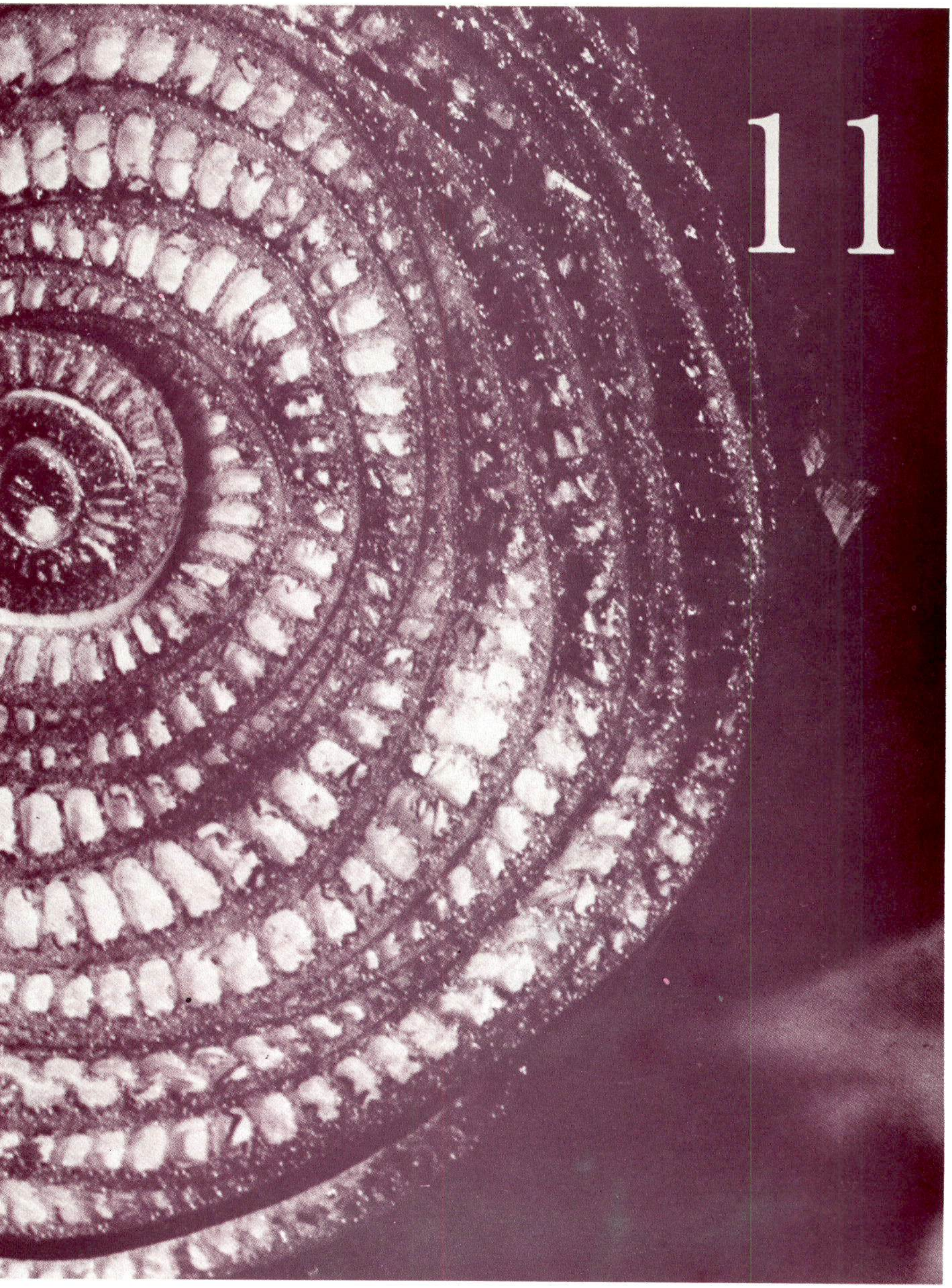
10 ـ كثير من التفاعلات التى تحدث بين الكائنات الحية وبين بيئتها غير الحية يشملها جميعا الاصطلاح المعروف باسم النظام البيئى .

11 ـ تعتبر الطاقة الشمسية على وجه التقريب مصدرا لجميع الطاقات عل سطح الارض وتقوم النباتات الخضراء بامتصاص جزء صغير لا يتعدى واحد فى المائة من هذه الطاقة الهائلة التى تصل الى الارض وتحول هذا الجزء الى طاقة كميائية تختزن فى المركبات الكربونية .

12 ـ نتيجة لعملية التنفس التى تقوم بها الكائنات الحية من نباتات وحيوانات وكائنات محللة يتم تشتيت هذه الطاقة المختزنة وتتبدد فى الفراغ على هيئة طاقة حرارية .وعلى ذلك تسرى الطاقة الاشعاعية للشمس فى اجسام الكائنات الحية فى اتجاه انحدارى متناقص وتسرى هذه الطاقة عبر سلاسل الغذاء التى يطلق على اجزائها المختلفة من وجهة نظر الطاقة اسم مستويات الغذاء•ونظرا للفقد الذى يحدث فى هذه الطاقة التى يمكن استغلالها عند كل مستوى من مستويات الغذاء ، فانه يوجد عدد محدود من هذه المستويات الغذائية فى كل سلسلة من هذه السلاسل الغذائية .

التكاثر الخضرى

Vegetative Reproduction



11

التكاثر الخضرى
Vegetative Reproduction

تظهر النباتات فى ادوار حياتها بمظهرين واضحين ، احدهما الطور الخضرى الذى يتكون نتيجة لنمو كل من الجذر والساق ، اما الثانى فهو الطور التكاثرى التزواجى . ويتضمن التكاثر التزاوجى فى النباتات البذرية اندماج خليتين معا لتكوين بيضة مخصبة ينشأ منها جنين داخل البذرة . وعند انبات البذرة يعطى الجنين نباتاً جديدا ومع ذلك فانه لا يمكن تجاهل دور الطور الخضرى ونشاطه فى تكوين البذرة فلا يتم تكوين البذرة الا بالنشاطات العديدة لجسم النبات . وان تصنيع الغذاء وامتصاص الماء والاملاح المعدنية وكثيرا من العمليات الاخرى تؤدى الى تكوين البذرة والمساهمة فى ظهورها الى حيز الوجود .

وتنتج معظم النباتات بذورا بعد عملية الاخصاب وكثير من الانماط النباتية لها قدرة على التكاثر الخضرى اى انها قادرة على مضاعفة عددها بطرق اخرى غير البذور.والتكاثر الخضرى vegetative reproduction يعرف ايضا بالتكاثر اللاتزاوجى asexual reproduction ، كما يعرف باسم التوالد الخضرى vegetative propagation أو التضاعف الخضرى vegetative multiplication . ويعتبر التكاثر بالطرق الخضرية شائعا فى الطبيعة ويمارسه الانسان فى النباتات بالطرق الصناعية . واننا نعتمد على التوالد الخضرى لانتاج الغذاء كما نعتمد عليه للحصول على النباتات الاخرى التى لها اهميتها من الوجهة الاقتصادية كما يتبين ذلك من الجدول (11 ـ 1) .

بعض المظاهر العامة للتكاثر الخضرى :
Some General Features of Vegetative Reproduction

انتاج الفسائل : **Production of Clones** . قد يحدث اثناء توالد النباتات بطرق صناعية انفصال جزء من النبات الام . وعلى وجه التقريب فان اى عضو من النبات قادر على التكاثر خضريا وعندما تتوالد النباتات بهذه الطريقة فانها تحمل عادة جذورا وبراعم عرضية أى براعم وجذورا فى غير موضعها العادى .

والفسيلة Clone اصطلاح معروف فى علم البستنة للدلالة على كل سلالات descendants النبات الواحد وهى التى يتم

الجدول 11 ـ 1
طرق توالد بعض النباتات الهامة المنزرعة

Methods of Propagating Some Important Cultivated Plants

بالبذرة	بالطرق الخضرية
الهليون	الافوكادو
الحنطة السوداء	الموز
الحبوب (القمح والرز والذرة	الموالح
والشعير والذرة البيضاء sorghum	البلح
جوز الهند	التين
البن	قنب مانيلا
القطن	تابيوكا (كاسافا)
الكتان	المحاصيل البندقية (الجوز
البقوليات (البازلاء والفاصوليا	الانجليزى والبيكان)
والفول السودانى وفول الصويا)	الاناناس
خشخاش اسود	التفاحية (التفاح والكمثرى)
بنجر السكر	البطاطس والبطاطا الحلوة
	قنب السيسل
تبغ	ثمار صغيرة (الشليك والعنب
محاصيل الخضر ، خضروات	والتوت البرى cranberry
(الطماطم والخس والكرفس	والتوت الشوكى blackberry
والجزر واللفت والكرنب)	الثمار الحجرية (الخوخ والبرقوق
	والمشمش والكرز والزيتون واللوز)
	قصب السكر
	الفانيلا

انتاجها بالطرق الخضرية . فكل الافراد النباتية لأى صنف معروف من اصناف التفاح مثل الصنف الشهى Delicious ، والصنف ماكنتوش McIntosh هو فسيلة من الفسائل . كذلك الافراد النباتية الاصناف الشليك strawberries والخوخ والورد والعنب والقرنفل carnations والبطاطس وكثير غيرها من النباتات التى يتم انتاجها بالتطعيم والتبرعم والعقل أو بأية طريقة اخرى من الطرق الخضرية ومن اوضح الامثلة للفسيلة الخضرية صنف البرتقال الشائع المعروف باسم زنابق النهار day lily وهو من الاصناف المعمرة التى تزرع على نطاق واسع ، وقد عرف فى اوروبا منذ اكثر من اربعة قرون . وللاكثار من هذا النبات تفصل الاجزاء القاعدية من النباتات المسنة وتقسم الى قطع صغيرة . وبالرغم من ان اى نبات من نباتات هذه الفسيلة لا يكون بذورا اذا ما لقح بلقاح النبات نفسه الا انه يمكن تلقيحه بلقاح من نباتات اخرى من نفس الصنف المعروف باسم زنابق النهار وفى هذه الحالة يتم تكوين بذور مهجنة من صنف جديد . فكل النباتات المنزرعة او التى افلتت من الزراعة فى هذا الاقليم او غيره من الاقاليم هى فروع لنبات واحد ولذلك فانها تعتبر وحدات لفسيلة واحدة ومع ذلك فانه يوجد اقدم من هذه الفسائل وهى اصناف العنب الاوروبية التى تتوالد خضريا منذ اكثر من 2000 عام ولما كانت افراد احدى الفسائل هى جميعها اجزاء من نفس النبات الاصلى نمت عن طريق انقسام الخلية انقساما غير مباشر فمن المتوقع ان تتشابه هذه الاجزاء من الوجهة الوراثية .

التكاثر الخضرى الطبيعى : Natural Vegetative Reproduction

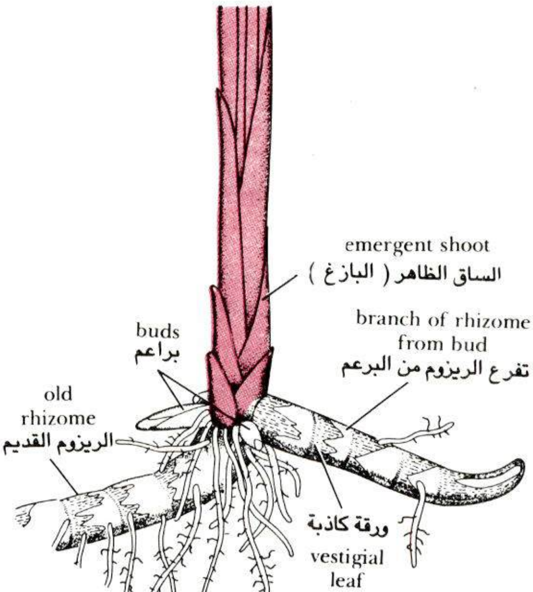
ان قدرة النباتات على التكاثر تقتصر غالبا على النباتات العشبية والخشبية المعمرة . ومن بين التراكيب التى تجعل هذا النمط من التكاثر ممكنا ، السيقان الزاحفة والسيقان الهوائية او الفروع الارضية للسيقان الهوائية (السيقان الجارية والممتدة (الروائد) stolons والريزومات والجذور الافقية . فترسل السيقان الهوائية الزاحفة حيث تلامس التربة ، فروعا الى اعلى كما تنتج جذورا عرضية عند العقد (شكل 11 ـ 1) . وبهذه الطريقة يتكاثر نبات الشليك وكثير من الاعشاب ونباتات اخرى .

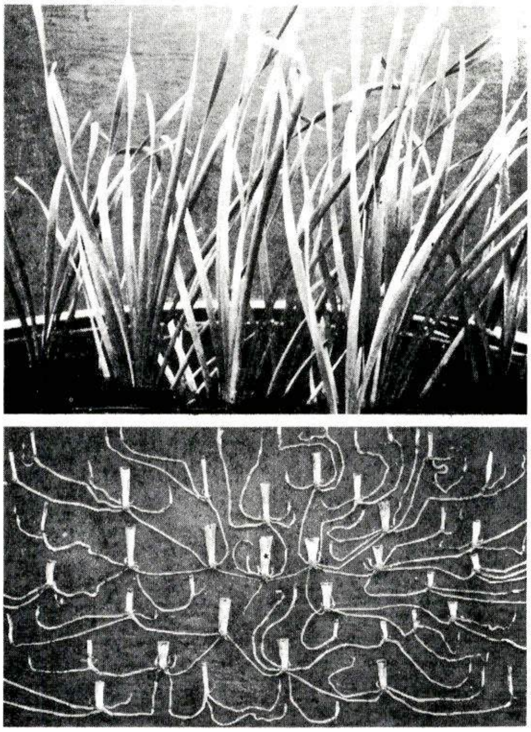
واكثر من ذلك شيوعا هو التكاثر بالسيقان الارضية كالروائد والريزومات . فقد تكون الروائد براعم ابطية وجذورا عرضية عند العقد . وينشأ من البراعم فروع تبرز بعد ذلك فوق التربة لتكون فروعا هوائية وعندما تموت الاجزاء المسنة تنشأ نباتات جديدة مستقلة عنها وتنتشر بهذه الطريقة عدد من النباتات البرية ونباتات الزينة والاعشاب مثل زنبق الوادى lily – of – the —velley (Convallaria majalis) وكثير من النعناع mints والنجيليات المعمرة ونجمة الصباح morning – glory (Convolvulus sepium) .



شكل (11 ـ 1) التكاثر الخضرى فى نبات الشليك البرى wild strawberry (Fragaria virginiana)

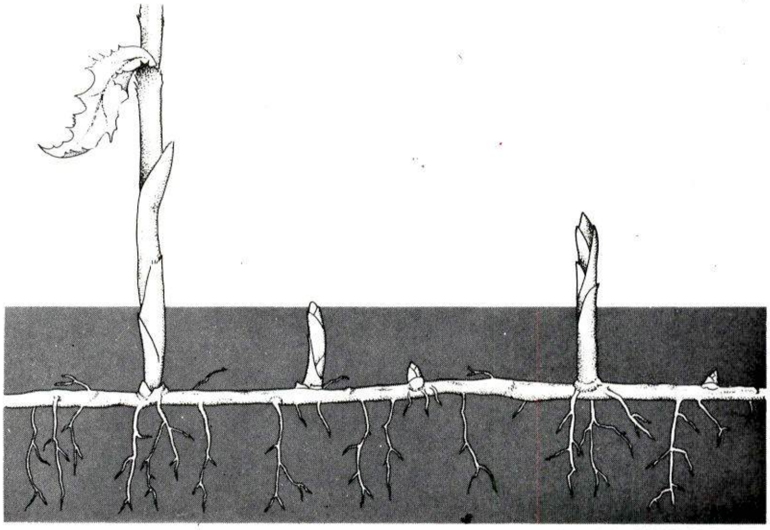
شكل (11 ـ 2) التكاثر لنبات البردى (عشبة البرك) cattail (Typha)





شكل (11 ـ 3) (الأعلى) نبات البردى (عشبة البرك) Cattail (Typha latifolia) النامى من بذرة واحدة ، بعد مرور (6) شهور
(الأسفل) نفس النبات بعد أن قطعت أوراقه وازيلت جذوره . يشار بنجمة إلى الساق الأصلية فى وسط الصورة

وفيما يلى مثال يوضح بالتفصيل طريقة التكاثر بالريزومات ويختص هذا المثال بنباتات عشبة البرك (البردى) cattails وهى من النباتات الشائعة وتشمل هذه النباتات عدة انواع تنتشر انتشارا واسعا ، وغالبا ما تحتل مساحات شاسعة من الاراضى الملحية وحواف البحيرات والجداول . ويبلغ قطر ريزوماتها ½ بوصة أو اكثر ، تتخلل الطين فى نموها وتكون عدة عقد تحمل اوراقا اثرية . وفى النهاية تنحنى قمة الساق الى اعلى لتكون غصنا بارزا (شكل 11 ـ 2) واثناء نمو هذا الغصن ، تتكون البراعم الجانبية عند قاعدته وتنمو هذه البراعم فى الاتجاه الافقى لتكون الريزومات وكل منها بدورها



شكل (11 ـ 4)

سيقان عرضية من جـذور أفقية لنبـات الحسك الكنـدى Canada thistle (Cirsium arvense)

تكون غصنا بارزا قميا تصحبه براعم قاعدية .

وقد قام الباحثون بفرع خدمـات البحوث الـزراعية التـابع لقسم الزراعة بالولايات المتحدة الامريكية بقياس معدل النمـو الخضرى لاحد الانواع الشائعة من انواع البردى وهو (Typ-na latifolia) ، وذلك اثناء فصـل نموه الاول ففى شهـر مايـو (مـايس) زرعت بادرة واحـدة منـه فى حـوض قطـره 6 أقـدام ويحتوى على تـربة مغطـاة بالمـاء (شكل 11 ـ 3) . وفى شهـر نوفمبر أنتج النبات 34 غصنا بارزا طـولها 18 ـ 48 بـوصة ، كما كون 29 غصنا أصغر طولا من السابقة ، حيث طولهـا 4 ـ 18 بوصة ، كما كون ايضا 35 غصنا لم تبرز على سطح التربة .حيث بلـغ طولهـا 2 ـ 4 بوصـة أى أن النبات الـواحد لـه من القـدرة والفاعليـة بحيث ينتج حـوالى 100 فرد فى فصـل نمو واحد .

وأقصى معدل من المعدلات التكاثرية ما وجد فى نبات ورد النيـل (Eichhornia crassipes) وهو من الأعشاب الضـارة المقلقة بالرغم من لون زهرتـه الجذابـة وينمو هـذا النبات فى المنـاطق الاستوائية وشبه الاستوائيـة ويوجـد فى الجزء الجنـوبى من الولايات المتحدة كثير من هـذه المناطق وقـد يكون هـذا النبات بذوراً ، ولكنه يتكاثر بصفة أساسية بالـروائد ، ويتكـاثر هـذا النبـات بسرعـة مـذهلـة فقـد . وجد ان 10 نباتات منه قادرة على تكوين 655,360 نباتا اثناء فصل نمو واحد، أى على مدى 8 شهور فقط. وهذا العدد الكبير من النباتات يمكنه أن يغطى سطحا من الماء تبلغ مساحته هكتارا ويعمل على وقف الملاحة فيه كلية. ومن الامور التى تسترعى الانتباه ايضا تكاثر النباتات المتوطنة المعروفة باسم العنبة الزرقاء blueberries. وقد وجد أن نوع العنبة الزرقاء الذى يستوطن الولايات المتحدة الجنوبية يكون سنويا ريزومات جديدة يبلغ طولها فى المتوسط قدما واحدا. وقد قدر أن الفسيلة الخضرية من هذا النبات التى تتولد من مركزه فى اتجاه انصاف الاقطار تغطى مساحة قطرها ميل وأن عمرها يبلغ 1000 عام.

ومن الشائع ايضا تكوين السيقان الهوائية العرضية وبروزها من الجذور الافقية وتوالد النباتات بالبراعم العرضية التى تخرج من الجذور يحدث فى الحسك الكندى. (شكل 11ـ4) كالـ milkweed, bindweed وكثير غيرها من الاعشاب العشبية. وتنشأ السيقان الهوائية غالبا من الجذور الافقية للنباتات الخشبية كما فى نبات النارنج Osage orange ونباتات الحور poplars والسماق sumac والزان beech وعنب البيلسان elderberry والليلك lilac . وغالبا مايتكون حرجة groves أودغل clumps من النباتات الخشبية نتيجة لتكاثرها بهذه الطريقة.

اصل الجذور والبراعم العرضية: Origin of Adventitious Roots and Buds

كما ذكرنا فى البداية تتكون الجذور او البراعم العرضية او كلاهما فى انواع كثيرة من عملية التكاثر الخضرى. فسيقان كثير من النباتات تكون جذورا عند موضع اتصالها بالتربة. فاذا ماغرست قطعة من الساق فى التربة فانها قد تكون جذورا على طرفها السفلى. وقد تنشأ البراعم بطريقة طبيعية على الجذور وهى مازالت متصلةبالنبات الام، او نتيجة لاحداث جرح فيها.

وفى العادة تنشأ الجذور العرضية على السيقان اما من داخل الانسجة الوعائية او بالقرب منها. وتتكون الانسجة المرستيمية الطرفية لهذه الجذور من انسجة مختلفة مثل الجزء الخارجى من الشعاع الوعائى او من خلايا البرنشيمية فى المنطقة التى بين الحزم الوعائية، او من الكامبيوم ذاته، او من الخلايا البرنشيمية التى تقع خارج اللحاء الابتدائى مباشرة. اما البراعم التى تتكون على الجذور فتنشأ عادة من الطبقة المحيطة وفى هذه البراعم تحمل قمة الساق اوراقا جنينية وهى مازالت مطمورة داخل أنسجة الام (شكل: 11ـ6) وأية خلية من الخلايا النباتية مهما كانت



شكل (11 ـ 5)

الشوفان البحرى sea oats (Uniola paniculata) مثبت الرمال شمال كارولاينا

وتلعب عملية التكاثر الخضرى دورا هاما فى الطبيعة فكثير من النباتات المعمرة سواء أكانت خشبية أو عشبية يمكنها أن تنتشر فى مساحات واسعة وذلك بسبب توالدها خضريا. وبهذه القدرة العظيمة امكن للنجيليات مثلا أن تسود المروج والبرارى والسهول فى أجزاء كثيرة من العالم والسرعة الفائقة التى تنتشر بها النباتات بالتكاثر الخضرى قد مكنتنا من استغلال النجيليات المعمرة والبقوليات وغيرها من النباتات للتحكم فى تعرية تآكل الاراضى المنحدرة والاخاديد والكثبان الرملية (شكل 11ـ5). فتعمل كتل الجذور والسيقان الارضية بجانب الاجزاء الهوائية للنباتات على تثبيت التربة وحفظها من التلف الذى تسببه المياه والرياح (الفصل العاشر).

وترتبط عملية التكاثر الخضرى ارتباطا وثيقا بقدرة النبات على تجديد أفراده التى تلفت تلفا جزئيا اى استعادته لما فقده من أجزاء. فجزء من نبات ناب الاسد dandelio إذا ما ترك فى التربة عقب محاولة نزعه بالحفر باليد، يكون براعم عرضية سرعان ماتنتج أوراقا تظهر فوق سطح التربة. وكثير من أشجار الغابات ذات الخشب الصلب تكون بعد قطعها فروعا، من قاعدة الجذع المقطوع وقد يعتبر هذا النمط من التكاثر ذا اهمية عند اخلاء الغابات من اشجارها بقطعها لاستبدالها بنباتات اخرى.



شكل (11 ـ 6) قطاع عرضى فى جذر الحسك الكندى Canada thistle (Cirsium arvense) ويوضح السيقان الجنينية العرضية . قارن ذلك بتفرع الجذر فى شكل (9 ـ 13)

درجة نضجها فسيولوجيا فانها تحتفظ بقدرتها على الانقسام طالما كانت حية. وتستعيد هذه الخلايا نموها ويتجدد انقسامها بعد حثها بحافز مناسب. واذا ماتم تكون قمة الجذر او الساق فانه يشق طريقه خلال الانسجة التى تكتنفه ويخترق التربة او يبرز فى الهواء.

مزايا التكاثر الخضرى: Advantages of Vegetative Reproduction

يمارس الفلاحون وأصحاب البساتين والمشاتل وبائعوا الزهور واصحاب الحدائق عملية التوالد الخضرى وذلك لاسباب مختلفة. فبعملية التكاثر الخضرى يمكن الحصول فى وقت قصير على نبات اتم نمواء فى الغالب أقوى من النبات الذى ينتج عن طريق زراعته بالبذرة. فنمو عديد من الزنابق من البذرة يعتبر بطيئا جدا فقد تنقضى أربع الى سبع سنين بين عمليتى الانبات والازهار. أما فى حالة التوالد الخضرى فقد تتكون الازهار فى فصل او فصلين من فصول النمو.

ويوجد عدد كبير جدا من الازهار ونباتات الزينة الاخرى التى تتكاثر تكاثرا خضريا ومن بين هذه النباتات الاكثر اهمية الورود roses والقرنفليات carnations ونباتات الكريزانثيم chersanthemums ونباتات بنت القنصل poinsettias ونباتات الجيرانيم geraniums والكوبيات hydrangeas والجلاديولس gladiolus والنرجس narcissi والحلحل hyacinths والخزامى (من الزنابق) tulips والسوسن والداليا dahlias والفلكس phlox والعائق delphiniums وكل الشجيرات المزهرة ونباتات الزينة دائمة الخضرة تتكاثر بهذه الطريقة.

وبعض الاصناف من النباتات تفتقر كلية الى التكاثر التزاوجى وتتكاثر خضريا فقط. ومن أمثلة ذلك الاصناف المنزرعة من الموز والاناناس pineapple وبعض أصناف الليمون الحامض Limes والبرتقال ابو سرة navel orange وصنف الليمون الهندى Marsh grapefruit وأصناف معينة من العنب grapes. وتكون بعض أصناف البطاطا الحلوة ابذورا إلا أن أكثرها لايكون بذورا تحت الظروف العادية.

ومن أهم مميزات التكاثر الخضرى فى النباتات المنزرعة احتفاظها بخصائصها المرغوب فيها، والتى لاتصلها نقية من البذور. وكثير من النباتات المفيدة وتشمل معظم الثمار التى نأكلها تكون بذورا حية، غير انها تنتج نسلا قد يختلف اختلافا كبيرا عن الابوين، وذلك لان نباتاتها تعتبر هجنا، فاذا زرعت بذور التفاح الشهى Delicious apple أو كمثرى بارتلت Bartlett pear فإن الاشجار الناتجة وماتحمله من ثمار قد تختلف عن الأبوين، الا أن هذا الاختلاف لايرقى بها الى مرتبة اعتبارها صنفا آخر، فضلا عن أنها لاتعتبر ذات قيمة من الوجهة التجارية. ومعظم ثمار المنطقة المعتدلة فى امريكا تتكاثر لاتزاوجيا. والثمار التى تزرع بالذور لايمكن تحديد مميزاتها الا بعد نضج النبات وحمله لثمارة. اما النباتات التى تتكاثر لاتزواجيا فان خصائص الازهار او الثمار التى يحملها كل صنف منها يمكن التعرف عليها مقدما، وذلك لان كل جيل يشبه الجيل الذى سبقه.

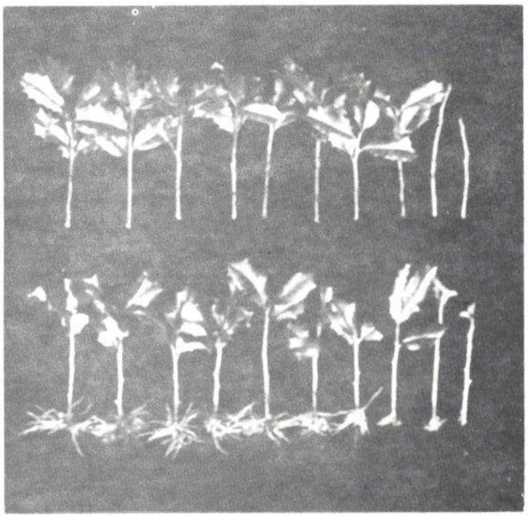
الاعضاء النباتية التى تستخدم فى عملية التكاثر الخضرى Plant Organs Used in Vegetative Propagation

التوالد الخضرى بالسيقان الهوائية Propagation by Aerial Stems.

يعتبر التعقيل Cutting من أشهر الوسائل فى عملية التوالد الخضرى. والعقل Cutting عبارة عن اجزاء خضرية من النباتات انتزعت منها ووضعت فى الرمل او أى مادة اخرى مناسبة وذلك تحت ظروف ملائمة من درجات الحرارة والرطوبة. وتنزع العقل من السيقان أو الجذور او حتى من الاوراق، الا أن أكثرها استعمالا هى عقل الساق.

وقد يطلق على عقلة الساق غالبا اسم السلخة (القلم) Slips وخصوصا اذا لم تكن خشبية وتتكون عقلة الساق من جزء منها يبلغ طوله 7,5 ـ 30 سم أو اكثر ويحمل عدة عقد وبراعم جانبية فاذا وضعت مثل هذه العقلة فى التربة فان الجذور تنمو من نهايتها السفلى، أما البراعم الجانبية العلوية فانها تنمو الى فروع واذا انعكس وضع العقل فان بعض الانواع تكون جذورا من طرفها القمى وفروعا من طرفها القاعدى الا أن النمو يصير ضعيفا.

وبعقل الساق يتوالد بسهولة عدد كبير جدا من النباتات. الا أن عقل عدد آخر من النباتات تكون جذورا هزيلة، وفى هذه الحالة لاتتوالد هذه النباتات الا بصعوبة، أو لاتتوالد بتاتا، وفى عام 1935 اتبع اسلوب فنى جديد به أمكن الاكثار من النباتات وذلك باكتشاف أن الهرمونات تحفز العقل على تكوين الجذور (شكل 11-7). فحامض اندول الخليك indoleacetic acid الذى أمكن الحصول عليه من مصادر عضوية ثم وجد بعد ذلك أنه يتكون فى النبات يعمل على تنشيط نمو الجذور اذا وضع على الطرف القاعدى للعقل ثم وجد بعد ذلك أن مركبات كيميائية اخرى تستحث او تحفز العقل على تكوين الجذور ومن أشهر هذه المواد اندول حمض البيوتريك indolebutyric acid ونفتالين حامض الخليك naphthaleneacetic acid



شكل (11 ـ 7)

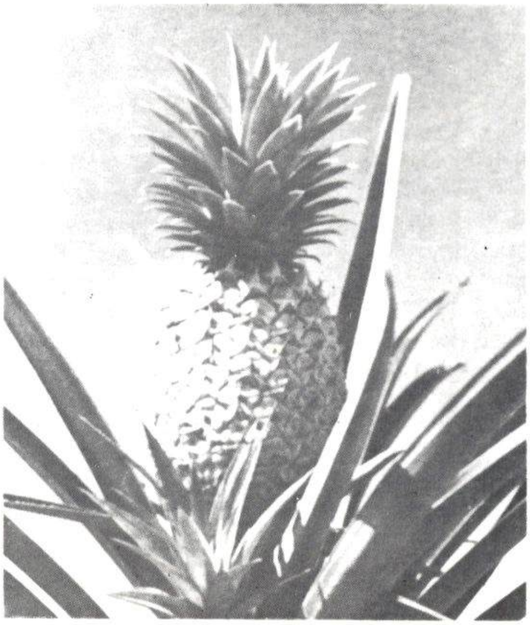
استجابة النبات عند تزويده بهرمونات النمو growth hormones تكوين جذور جديدة لأجزاء مقطوعة من نبات شرابة الراعى (Ilexopaca) holly عولجت المجموعة فى أسفل الصورة بينما لم تعالج المجموعة العليا .

وتستعمل هذه المواد المنشطة للنمو إما على هيئة محاليل مخففة او على شكل مسحوق يخلط بمادة غير نشطة وهو الاكثر شيوعا فتغمس النهاية القاعدية للعقلة فى الهرمون ثم تغرس فى التربة والعقل التى عوملت بهذه الطريقة تكون جذورا أسرع وأكثر عددا من العقل غير المعاملة. والنباتات التى تكون جذورا على العقل بصعوبة مثل السدر الجبلى yew وشجرة شرابة الراعى hotly والكاميليا Camellia تستجيب لهذه المعاملة . ويوجد فى الاسواق عدة مستحضرات تحمل أسماء تجارية مختلفة يستغلها الهواة من اصحاب الحدائق وكذلك المحترفون من أصحاب المشاتل وتستخدم هذه المستحضرات على نطاق واسع فى عملية التكاثر الخضرى .

وتعتبر نباتات الكاكتس Cacti من بين النباتات التى يسهل تكاثرها بالعقل . فتنزع قطعة من النباتات ذات حجم معتبر بسكين حادة ثم تعرض هذه القطعة الى جو جاف وذلك لمدة يوم أو اكثر للسماح للسطح المقطوع بالالتئام ثم تغرس فى الرمل . وكثير من أنواع الكاكتس ينتشر بطريقة طبيعية بعملية التوالد الخضرى وبعضها مثل انواع التين الشوكى Opuntias لها سيقان مفصلية يسهل نزعها . أما الأخرى فانها تكون فروعا جانبية خاصة ، تنفصل بسهولة عند لمسها . وهذه القطع المفصلية أو الفروع تتعلق بشعر أى حيوان يمر بجانبها وقد تحمل الى مسافات بعيدة . واذا ماسقطت هذه القطع على التربة فإنها سرعان ماتكون جذورا وتنمو لتكون نباتا مستقلا . وانتشار أنواع الكاكتس بالحيوانات تعتبر احدى الظواهر التى تستحق الاعتبار خصوصا فى السهول الغربية للولايات المتحدة التى يتم فيها الرعى بشدة . وبعض انواع الكاكتس يتوقف تكاثرها بدرجة كبيرة على التوالد الخضرى ونادرا ماتنتج أزهارا أو ثمارا .

ومن ابرز نباتات الغذاء التى تتوالد بأجزاء من السيقان الهوائية نبات قصب السكر والأناناس Pineapple والكاسافا Cassava . وتزرع أصناف قصب السكر بغرس أجزاء من السيقان كل جزء يحمل عقدة أو أكثر وكل عقدة عليها براعم . وتبرز الجذور من المناطق التى فوق العقد مباشرة ، وتنمو البراعم بسرعة لتكون أغصانا .

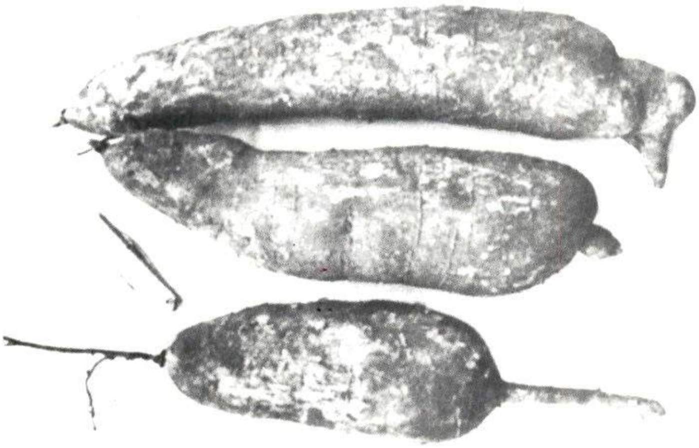
ويتكاثر الاناناس (شكل 11 ـ 8) بعدة طرق . فعلى العنق الزهرى تحت الثمرة مباشرة توجد أغصان صغيرة تسمى سلخات Slips . أما الأغصان الأخرى التى تسمى الولائد Suckers فتتكون فى أباط الاوراق الاساسية قريبا من سطح



شكل (11 ـ 8) شجرة اناناس مثمرة
Fruiting pineapple (Ananas comosus)

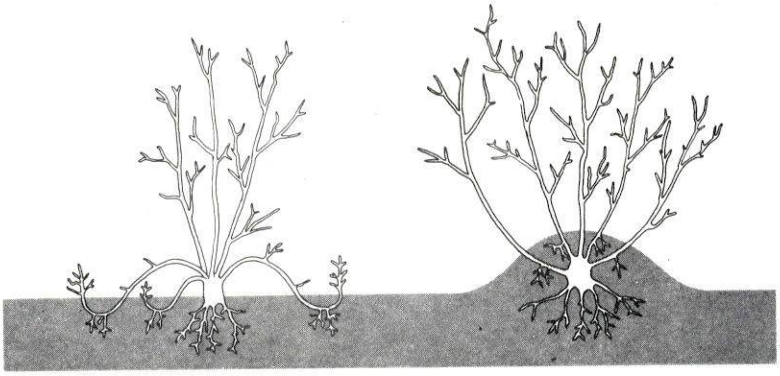
الأرض.وتنزع السلخات والولائد وتغرس فى التربة فتنمو لتكون نباتات جديدة وهذه هى الأجزاء التى تستغل عادة فى عملية التكاثر . وتمتد رأس الثمرة لتكون غصنا خضريا يسمى التاج Crown يستغل ايضا فى عملية التوالد الخضرى ، وتكون الولائد ثمرة ناضجة بعد حوالى 15 شهرا ، والسلخات بعد 18 ـ 20 شهرا أما التيجان فتكون ثمارا ناضجة بعد حوالى 22 شهرا ، والكاسافا نبات شجيرى معمر يبلغ طوله 6 ـ 7 أقدام ويزرع على نطاق واسع فى امريكا الاستوائية منذ عصر كولمبس وذلك من اجل جذوره التى تؤكل ، وقد تم ادخاله فى مناطق استوائية أخرى . ويتكاثر النبات بالعقل التى يبلغ طولها حوالى القدم ، وهى سيقان هوائية شبه خشبية . وتزرع هذه العقل فى صفوف ، وتكون الجذور معدة للحصاد بعد 9 ـ 12 شهرا من غرسها . والجذور (شكل 11 ـ 9) كبيرة لحمية ودرنية وهى غنية بالنشاء الذى يعتبر مصدرا لمادة التابيوكا Tapioca التجارية . وتؤكل الجذور بعد بشرها وغسلها ثم غليها أو تحميرها ، وقد تستخدم فى صنع الخبز . وتحتوى الجذور على حمض الهيدروسيانيك Hydrocyanic acid ، الذى تبلغ كميته أحيانا حدا يسبب تسمما مميتا اذا ما أكلت هذه الجذور نيئة ويمكن التخلص من هذه المادة السامة بالغسيل أو الطبخ .

كثيرا مايحدث للعديد من النباتات ان تتكون جذور عرضية من أغصانها إذا مالامست التربة . وتنشأ هذه الجذور العرضية من العقد القريبة من قاعدة الساق وربما من عقد قريبة من طرفه . وتستغل فى البستنة هذه الخاصية المميزة لبعض النباتات فى تكوين جذور عرضية من سيقانها . وتعرف هذه الطريقة باسم الترقيد Layering . وتستخدم طرق عديدة للترقيد ، ويتم ثنى فروع التوت الشوكى Blackberry وتوت العليق Raspberry والغار الوردى Rhododendron



شكل (11 ـ 9)

الجذور الخازنة لنبات الكسافا cassava (Manihot esculenta) وهو نبات غذائى هام فى المناطق الاستوائية .توضح صورة المطواة الحجم النسبى .



شكل (11 ـ 10) الترقيد Layering
(اليسار) الترقيد البسيط أو الشائع
simple or common layering
(اليمين) الترقيد على الربى mound layering

والورد Roses والياسمين البرى Honeysuckle ، وغيرها من نباتات الزينة أو نباتات الطعام حتى تلامس التربة ثم تغطى بها مع ترك قممها مكشوفة . وبعد تكوين الجذور تقطع السيقان أسفل منطقة تكون الجذور ، لتبدأ النباتات الجديدة فى النمو . وتسمى هذه العملية بالترقيد البسيط Simple Layering (شكل 11 ـ 10 على اليسار)

ويمكن أيضا ترقيد الفرع كله وتغطيته بالتربة وسواء تم ذلك على امتداد الفرع كله او تخللته فواصل فانه يطلق على هذه العملية اسم الترقيد المركب Compound Layering ويمكن اكثار العنب والقرنوس Dogwood والهدرانجيا وأشجار البندق بالترقيد المركب .

وفى عملية الترقيد على الربى Mound Layering (شكل 11 ـ 10 على اليمين) يشذب الجزء السفلى من النبات ليكون فروعا جديدة قرب سطح الارض . فاذا تم تغطية قاعدة النبات بطبقة سميكة من التربة ، فان هذه الفروع الجديدة تكون جذورا . ثم تفصل هذه الفروع من النبات الأم وتغرس وتتكاثر بهذه الطريقة نباتات مثل الريباس Currants والمشمش الشائك Gooseberries وبعض أصناف التفاح والسفرجل Quince

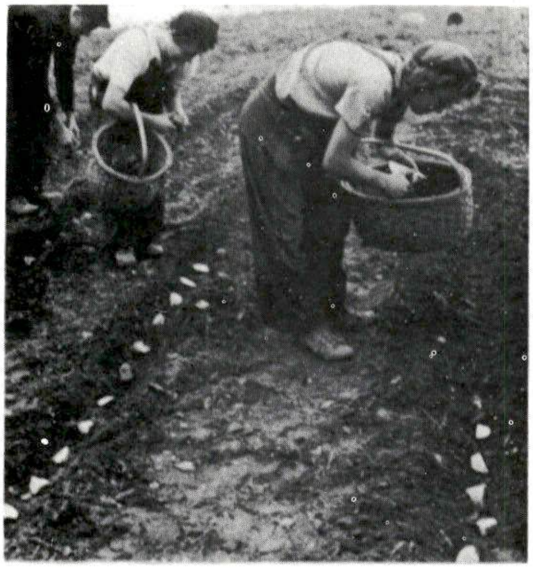
وفى بعض النباتات يستحيل من الوجهة العملية ثنى الفرع أو النبات كله نحو سطح الارض ـ بالاضافة الى أنه يصعب شتلها بالعقل وفى هذه الاحوال تستخدم طريقة الترقيد الهوائى Air Layering . وتتم هذه الطريقة بعمل جرح على شكل أخدود حاد الزاوية فى أحد الأفرع والافضل تحليق Girdling هذا النوع . ثم يحاط هذا الفرع بكرة من الحزاز Moss الرطب فى موضع الجرح الذى قد يعفر بهرمون لحثه على تكوين الجذور . ولا ضرورة لترطيب الحزاز من حين لآخر اذا ماكان غطاؤه محكما ومكونا من الشمع الذى لاينفذ منه الماء . وبعد بضعة أسابيع تنمو الجذور خلال الحزاز وحينئذ يمكن قطع الفرع وغرسه فى التربة .

وفى الصوبات يمكن الاكثار من الاراكيد بتقسيم ريزوماتها الى قطع صغيرة . إلا أن الطريقة الأسرع هى استعمال مزارع للانسجة Tissue Culture . فتنزع البراعم من قواعد الأوراق ويتم تشريح المرستيم الطرفى ويشمل عدة بدايات للاوراق Leaf Primordia تحت ظروف معقمة . ثم تغرس كل قطعة من القطع المفصولة فى آجار مغذ ومعقم حيث تنمو لتكون جسما صغيرا مستديرا يبلغ قطره عدة ملليمترات يسمى الكورمة الاولية Protocorm . وإذا ما قطعت الكورمة الاولية الى عدة قطع حملت كل قطعة منها براعم جديدة كما تصبح كل قطعة قادرة على تكوين كورمة اولية جديدة ، وفى امكان كل كورمة جديدة أن تكون نباتا جديدا وطالما أعيد قطع الكورمات الأولية وتقسيمها فإنها تستمر فى إنتاج كورمات أولية جديدة ، أما إذا توقف قطعها فإن كل كورمة اولية تكون نباتا جديدا . وتشبه هذه الطريقة طريقة التكاثر بالعقل ولكنها متحورة حيث انها لاتتضمن غير المرسيتم الطرفى .

التكـاثر بـالسيقان الارضيـة : Propagation by Underground Stems

قد تعتبر السيقان الأرضية التى تحور بوسـائل مختلفـة ، أكثر أهمية فى عملية التكاثر الخضرى من السيقان الهـوائية . فالبراعم التى تتكون من الريزومات فى موضع العقد تنشأ عنها الأفـرع التى تستمر فى نمـوها تحت سطـح التـربـة أو تكـون الأفـرع الهوائيـة . فنباتـات الكانـا Canna والسـوسن Iris والراوند Rhubard وعود الريح Peony يمكن إكثارهـا بقطع الـريزومـات الى قطع صغـيرة ، كل قطعـة تحمل بـرعمـا تـام التكوين .

والبطاطا البيضاء او الايرلندية تتكاثر بالطرق الخضريـة . فالبطاطس البيضاء تعتبر قمة رائد Stolon منتفخ ومتضخم . ولتحضـيرها للغـرس (شكل : 11 ـ 11) ، تقطـع الدرنـة الى أجزاء كل جزء يحمل عينا واحدة على الاقل (شكـل : 2 ـ 9) . فيكون البرعم المركزى فى كل عين فرعا يحمل بعد فتـرة قصيرة جذورا عرضية من جزء السـاق الذى يـوجد تحت التـربة . ثم بعـد ذلك تتكـون روائد من البـراعم الجانبيـة التى توجـد على العقد الأرضية ثم تتضخم قمم هـذه الروائـد لتكون الـدرنات (شكل 11 ـ 12) .



شكل (11 ـ 11)

قطع وزراعة البطاطس بـاليد لانتـاج البذور . فتقطيـع البطاطس فى الحقل وزراعة أجزائها فى وقت واحد يمكن له التعرف بسهولة على النباتات النامية من درنة مصابة ومن ثم اقتلاعها . ومن هنا يمكن اعاقة تكوين الدرنات المصابة بمرض الفسيفساء مثلا .

وتتكاثر النباتات ذات الكورمات والبصلات بطرق مختلفة . فتزداد معظم البصلات فى الحجم بطريقة طبيعية وذلك بـانتاج بصـلات صغـيرة (بصيـلات Bublets) فى آبـاط الحـراشف الخارجية . وعند النضج تعرف هذه البصـلات باسم الفـروخ Offsets ، وقد تنزع هذه الفروخ وتغـرس لتنمو الى بصلـة فى مثل حجم البصلات التى تحمـل أزهارا . وبعض الـزنابق يتم إكثارها بفصل الحراشف الخـارجية وغـرسها فى مخلـوط من الرمل والدبال . فتتكون البصيلات العـرضية عند قاعـدة كل حرشف . وبعض الزنابق يتم إكثارها بالعقل . ونبات الحلحـل يسرع فى تكوين بصيلات باعداد كبـيرة اذا ماتم عمـل تجويف بـاسفل السـاق وقـواعـد الأوراق ، حينئـذ تتكـون بصيـلات عرضية Adventi tious Bulblets من قواعد الأوراق .

وتعتبر كورمات الزعفـران Crocus والجلاديـولس قواعـد لسيقان عشبية منتفخة وتختلف عن البصلات فى كونها مصمتة لاتتكون من حراشف . فعندما تغرس كورمة نبات الجلاديولس تنمو من الكورمة القديمة ساق جديدة تحمل قاعدتها عـددا من الكورمات يتراوح بين واحدة أو ثلاث من الكـورمات . وتتكـون الكورمات الصغـيرة أو الكريمـات Cormels قرب قـاعدة كـل كورمة من الكورمات الجـديدة . وقـد تستغل هـذه الكورمـات الجديدة فى الاكثار من النبات ، إلا أنها تحتاج الى فصلين للنمو قبل أن تبلغ حجم الأبصال التى تحمل أزهارا .

ولاتنتج الاصناف التجارية للموز اية بذور ، فتتكاثر بالكورمات، كما تتكاثر بواسطة الولائد (Suckers) او بالفروع الجانبية التى تنشأ من البراعم التى على الكورمة اما «ساق» نبات الموز فتنشأ من كورمة ضخة تشبه الدرنة يقدر قطرها بحوالى 30 سم، وعند بداية زراعته تقطع الكورمة الى اجزاء يطلق عليها اسم اللقم Bits يزن كل منها 3 او 4 ارطال وتحمل عينا واحدة على الاقل فى حالة جيدة ، او برعما وتغرس هذه اللقم فى صفوف بعمق حوالى 30 سم

وبعد بضعة اسابيع يظهر فرع فوق سطح التربة ويستغرق نموه من 7 الى 10 اشهر قبل ان يظهر الشمراخ الزهرى flower stalk. واثناء هذه الفترة تتضخم قاعدة الفرع مكونة كورمة تختزن كميات كبيرة من النشاء .

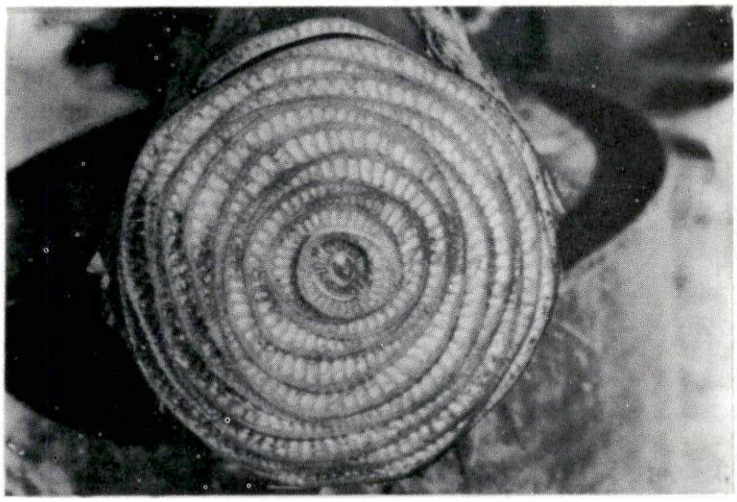
ومع ان نبات الموز يوصف بانه شجرة الا انه ليس خشبيا بل انه فى الحقيقة عشبى . والى ان يزهر يتكون الساق او الجذع كلية من قواعد ورقية تلتف حول بعضها التفافا محكما. وهى بمثابة دعامة للنبات (شكل 11 ـ 13) واذا ماكبر النبات فان (الولائد) تنمو من البراعم التى على الكورمة وتظهر فوق سطح التربة وهذه الولائد الحسامية sword suckers (شكل 11 ـ 14) يمكن فصلها واستغلالها للاكثار من النباتات الجديدة فكل وليد اذا ماغرس كون كورمة جديدة.

وقبل ان يتم نبات الموز نموه بوقت قصير يحدث ان قمة فرع الكورمة المتجهة الى اعلى والتى تخرج من قاعدة النبات تبدأ فى الاستطالة وهذه القمة تكون فرعا غليظا يندفع الى اعلى خلال مركز الساق ثم يبرز من القمة ويكون ازهارا.

وقد يصل طول النبات بعد 13 ـ 15 شهرا من الزراعة 30 قدما وقطره عند القاعدة 16 بوصة وثماره جاهزة للقطف (شكل 11 ـ 15) ويحصد النبات الام لان النبات لاينتج ثمارا الا مرة واحدة. اما الولائد الحسامية التى على الكورمة القديمة فتترك لتنمو وتكون ثمارا.. وهكذا.



شكل (11 ـ 12) اصل تكوين درنات البطاطس

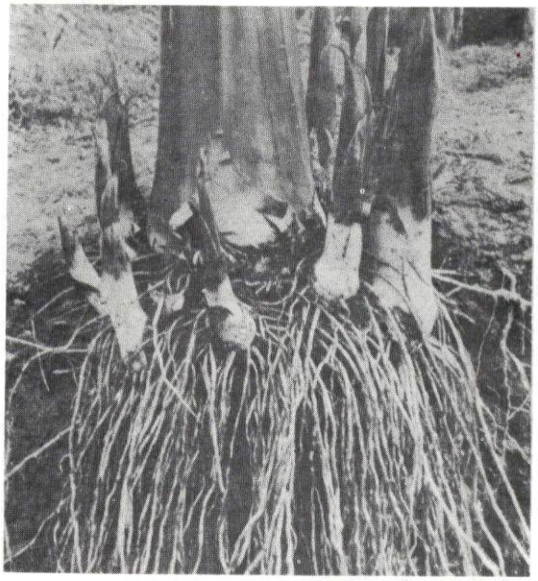


شكل (11 ـ 13)

مقطع عرضى فى نبات الموز Banana (Musa sapientum) الساق مؤلفة من أغماد وقواعد الأوراق

التكاثر بالجذور Propagation by Roots يعتبر نبات البطاطا الحلوة من اهم نباتات الغذاء التى تتكاثر بالجذور وليس لهذا النبات صلة بنبات البطاطس الابيض او الايرلندى، والتشابه بين الجذر الدرنى للبطاطا ودرنة البطاطس التى هى ساق، هو تشابه ظاهرى فقط، ويتم تفريخ البطاطا بسهولة، كما يمكن الحصول على نبات منها فى البيت بغمر درنتها غمرا جزئيا فى اناء به ماء، وللاكثار من نبات البطاطا على نطاق تجارى تغرس درناتها فى رمل رطب او تربة وسرعان ماتكون فروعا عرضية (شكل 11 ـ 16) تخرج من اطرافها السفلى جذور عرضية ثم تنزع هذه الفروع وتغرس فى الحقل.

وكثير من نباتات الزينة التى تزرع فى الحدائق مثل نباتات الفلوكس phlox والعائق delphinium والاخيليا columbine والخشخاش الشرقى oriental poppy والداليا dahlia تتكاثر اما بعقل الجذور او بتقسيم الجذور الى قطع صغيرة وفى الحالة الاخيرة قد تتكاثر النباتات اما بالبراعم التى تتكون على قاعدة الساق القديمة او على الجذور نفسها ونباتات الداليا التى تزرع على نطاق واسع لازهارها الجذابة التى تظهر فى فصل الخريف، تكون مجاميع من

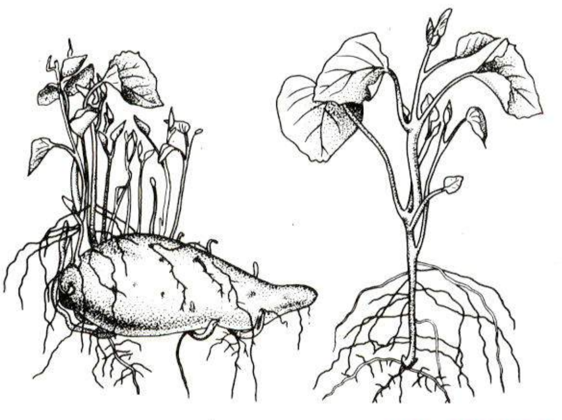


شكل (11 ـ 14)

النظام الجذرى لنبات الموز ـ مبينا تكون الولائد الحسامية حول الأم "sword suckers"

شكل (11 ـ 15) جنى الموز



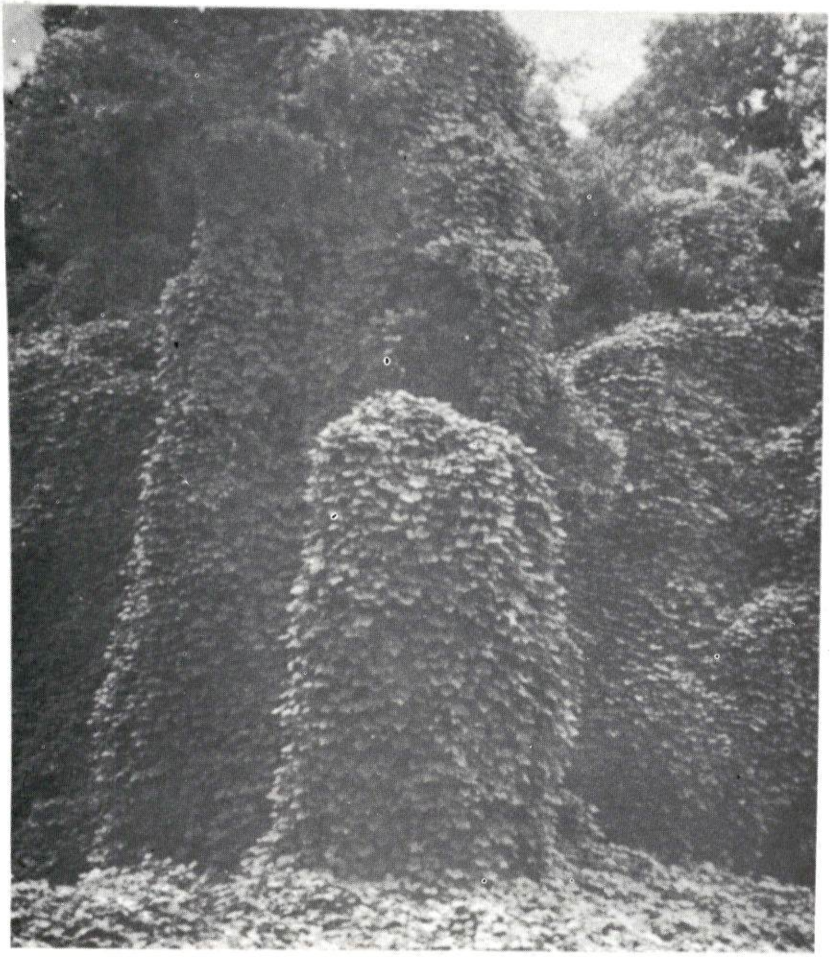


شكل (11 ـ 16)

التكاثر الخضرى فى البطاطا الحلوة sweet potato (Ipomoea batatas)

(اليسار) السيقان العرضية النامية من الجذر المنتفخ الخازن .

(اليمين) احدى هذه السيقان (وتسمى بالسحبة slip or draw) مجهزة لزراعتها .



شكل (11 ـ 17)

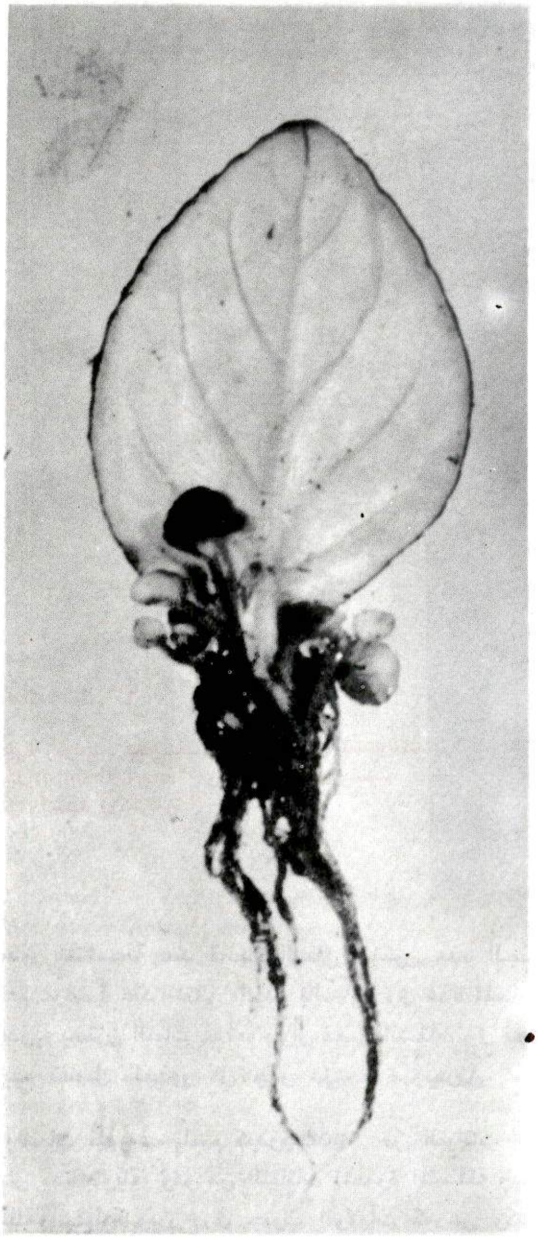
مصفوفة تكونت من نمو نبات الكشت اليـاباني kudzu (Pueraria thumbergiana) وهو نبات متسلق يتسبب في قتل الأشجار في كاليفورنيا

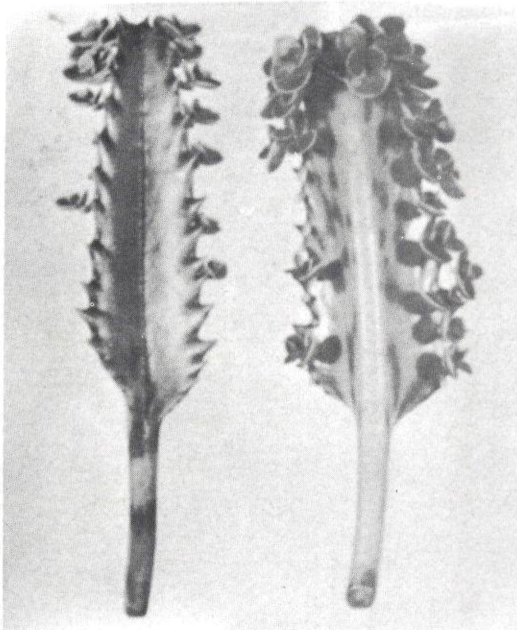
الجذور المتشحمة عند قاعدة الساق، وتكون هذه الجذور براعم عرضية عند ملتقى الجذر بالساق، وفي هذه المجاميع الجذرية يختزن النبات غذاءه طوال فصل الشتاء، وفي فصل الربيع تفصل الجذور كل جذر على حدة ويغرس.

والنبات المعروف باسم كودزوkudzu من النباتات التى تعيش مدة طويلة، وهو من النباتات المعمرة المتسلقة ويتبع العائلة البقولية ويزرع فى جنوب الولايات كمرعى وكذلك لحفظ التربة من التآكل كما انه يزيد من خصوبة التربة ويعتبر هذا النبات من ابرز نباتات الرعى التى تتكاثر تكاثرا خضريا، ويكون هذا النبات سيقانا جارية طويلة تنمو بسرعة عظيمة وتتخشب كلما تقدمت فى السن ومن المعروف ان ساقا جارية واحدة قد يصل طولها الى حوالى 50 قدما فى فصل نمو واحد . وهذا النبات المتسلق اذا مازرع على نطاق واسع اصبح ضارا (شكل 11 ـ 17)

وينتشر هذا النبات خضريا فتكون السيقان الجارية جذورا عند العقد كلما نمت وامتدت فوق سطح التربة. وتتضخم هذه الجذور ثم تتفرغ وتتشحم وتكون براعم على السطح، وهذه البراعم اذا مانمت نموا جيدا سميت بالتيجان crowns واذا ماارید زراعة منطقة جديدة بهذا النبات تفصل تيجان عمرها سنتان اثناء فصل السبات وتغرس فى صفوف ومن النادر ان ينتج هذا النبات بذورا كما ان انباته ضعيف.

التكاثر بالاوراق: Propagation by Leaves ان اوراق معظم انواع النباتات لاتكون نباتات جديدة، ويستثنى من ذلك عدد من الحالات، فالسرخس المتجول walking fern الذى ينمو فى المناطق الرطبة الظليلة شرقى الولايات المتحدة له اوراق طويلة رفيعة دائمة الخضرة فاذا لامست قمم اوراقه المسنة تربة رطبة، فقد تحمل جذورا ويتكون عليها فروع



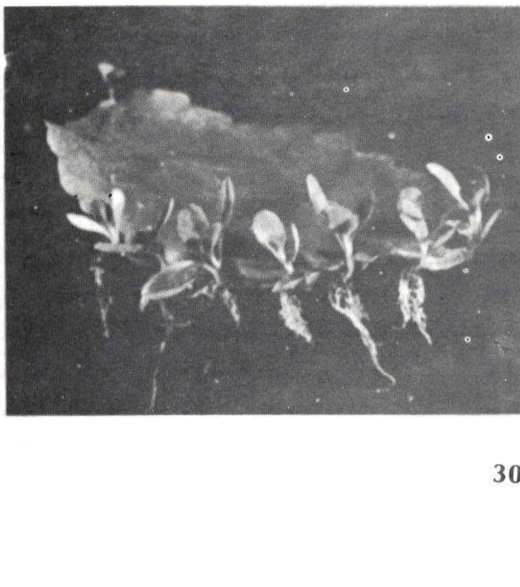


شكل (11 ـ 18)

السطوح العلوية والسفلية لأوراق نبات الكالنكويا (نبات الحياة) (Kalanchoe diagremontianum) تحمل حواف هذه الأوراق نبيتات صغيرة young plantlets

شكل (11 ـ 19)

ورقة واحدة من نبات الكالتكويا (نبات الحياة -Kalan choe diagremontianum) الموجودة فى شكل (11 ـ 18) قطعت ووضعت فوق سطح تربة رطبة ، ومن ثم زاد نمو النبيتات الصغيرة على حوافها .



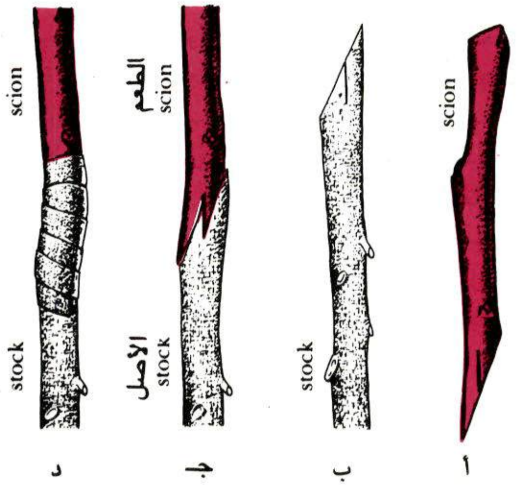
شكل (11 ـ 20)

ورقة البنفسج الافريقى African violet (Saint-paulia ionantha) تحمل نباتات عرضية عند القاعدة . ولقد نتجت هذه النباتات عندما غرس عنق الورقة فى التربة .

وبذلك يبتعد النبات الجديد عن النبات الاصلى ويستقل بنفسه بعد موت الورقة المسنة، واوراق عدد من السراخس سواء التى توجد فى المناطق المعتدلة او الاستوائية، قادرة على انتاج نباتات جديدة، ويتم ذلك احيانا دون ان تتلامس مع التربة.

ولايوجد من نباتات ذوات الفلقتين مايتمتع بقدرة عجيبة على التوالد بالاوراق مثل انواع معينة من جنس الودنة kalanchoe. ففى النوع المسمى بالكالنكويا (نبات الحياة) (kalanchoe diagremontianum (شكل 11 ـ 18) تكون الاوراق اللحمية المحززة على طول الحواف انسجة مرستيمية فى هذه الحزوز، وتكون هذه الانسجة المرستيمية نباتات صغيرة جدا، بينما الورقة مازالت متصلة بالنبات الاصلى، وهذه النبيتات Plantlets تحمل اوراقا دقيقة وسيقانا، واحيانا جذورا، كما ان هذه النباتات يسهل سقوطها ويستمر نموها على التربة، وفى النبات الهوائى او نبات الحياة (kolanchoe pinnata) لاتتكون النباتات الصغيرة عادة اذا كانت الورقة لاتزال متصلة بالنبات الاصلى، اما اذا نزعت ووضعت فى تربة رطبة فانها تكون مجموعة من النباتات الصغيرة على طول حوافها (شكل 11 ـ 19) او حتى اذا تركت معلقة فى الهواء، ومن هنا يأتى الاسم «نبات الهواء» air plant»، وتزرع انواع الودنة على نطاق واسع لازهارها وكذلك للحصول على النباتات الصغيرة التى تكونها انواع معينة منها على طول حواف الاوراق.

وتبين التجارب ان اوراق عدد عظيم من النباتات (24٪ من مجموع 1204 نوع تم اختبارها) تكون جذورا واغصانا تحت ظروف معملية، الا انه فى العادة لايستخدم منها فى عملية التكاثر على نطاق تجارب الا الاوراق اللحمية او الجلدية، حيث ان مثل هذه الاوراق تختزن الغذاء والماء بكميات تكفى لبقاء الورقة حية الى ان يتم تكوين نبات جديد ومن بين النباتات التى يتم الاكثار منها باطراد، نباتات القنب ذات الوتر القوسى (Sansevieria) والبنفسج الافريقى african violet (شكل 11 ـ 20) والجلاكسينيا gloxinia وكذلك عدة انواع من البيجونيا begonia. وفى بعض الحالات تغرس الورقة كلها، اما فى الاحوال الاخرى فتقطع الورقة الى قطع (عقل الورقة).



شكل (11 ـ 21) قطعة جذرية تستخدم فى تطعيم التفاح apple (Pyrus malus)
أ ـ مقطع للنوع المرغوب
ب ـ جزء من جذر التفاح
جـ ـ وصلت القطعتان ببعضهما بشكل محكم
د ـ موضع التطعيم كاملا وملفوفا

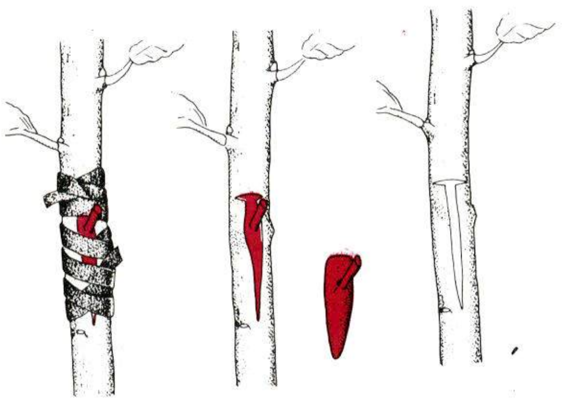
التطعيم والتبرعم: Grafting and Budding التطعيم grafting عملية من عمليات البستنة عرفها الانسان ومارسها منذ قرون وفى هذه العملية يتم توصيل عقلة مفصولة من نبات بجزء من جذر او ساق لنبات اخر مغروس فى التربة وتختلف هذه الطريقة عن الطرق الاخرى للتكاثر اللاتزاوجى فى ان العقل لاتكون اعضاء جديدة بل تلتئم مع النبات الذى طعمت عليه وتصبح جزءا لايتجزأ منه، ويطلق على النبات المغروس فى التربة والذى تم تطعيم جزء من ساقه او جذره اسم الاصل rootstock or stock اما العقل المفصولة التى يتم توصيلها فتسمى الطعم scion.

ويوجد عادة ثلاثة انواع من التطعيم وهى: التطعيم بالسوط whip (شكل 11 ـ 21) والتطعيم بالوتد wedge والتطعيم بالشق cleft ويقتصر التطعيم بالسوط عادة على نبات التفاح ويتم فى الشتاء باستخدام طعم على هيئة برعم ساكن، اما الاصل فهو الجذر، ثم يحتفظ بالطعم والاصل باردا ورطبا حتى فصل الربيع حيث يبدأ فى النمو فى الحقل وفى العادة يلتحم الاصل بالطعم التحاما محكما اثناء فترة التخزين.

ويستخدم التطعيم بالشق اذا ماأريد ان تحمل قمة شجرة مسنة صنفا جديدا واحدا او عدة اصناف فباستعمال المنشار يمكن عمل شق على شكل حرف I في الشجرة التى هى الاصل ثم يفصل الفالج او يشق لمسافة قصيرة تسمح بادخال قواعد لطعمين مستدقين فى الشق، وحتى نأمن التئام النبات بسرعة يوضع الطعم بحيث يقع نسيج الكامبيوم الذى على جانبه الخارجى بمحاذاة الكامبيوم فى الاصل، وتغطى جميع السطوح المقطوعة بشمع طرى حتى لاتجف. ويتم التطعيم بالشق باستخدام طعم سابت سباتا تاما وذلك قبل بداية نمو الاصل مباشرة ويلزم استعمال طعم سابت فى عملية التطعيم وذلك بقطعه وتخزينه فى مكان بارد، حتى يلتئم الاصل بالطعم قبل انتهاء حياته.

وفى التطعيم الوتدى ، يعمل قطع على شكل حرف V فى الأصل ويوضع به بعناية طعم مستدق . ويلزم تساوى قطرى الأصل والطعم تقريبا . وفى فرنسا تم صنع آلة حديثة تقطع كلا القطرين بدقة ، وبهذه الآلة تم تطعيم العنب الاوروبى على أصول جذرية أمريكية . والأمل معقود على تطويع هذه الطريقة بحيث يمكن استعمالها لتطعيم النباتات الأخرى .

وطريقة التبرعم budding هى طريقة خاصة من طرق التطعيم حيث يستعمل برعم واحد محاط بقلف كطعم (شكل 11 ـ 22) . وتتم عملية التبرعم فى الحقل فى فصل الربيع ، إلا أنه يشاع استعمالها فى أواخر فصل الصيف عندما تتكون البراعم السابقة التى يمكن استعمالها كطعم . ونباتات الخوخ والبرقوق والكمثرى pears والموالح citrus وربما نصف مجموع أشجار التفاح التى تزرع على نطاق تجارى يتم انتاجها بعملية التبرعم . وللتقليل من فقد الماء من البرعم تقطع الورقة التى تنمو تحت هذا البرعم ، ثم يتم ادخال الطعم فى الشق المقطوع فى القلف على شكل حرف T ، ويغلف بشريط لاصق مرن ليستقر فى مكانه بحيث لا يحول ذلك دون نمو الأصل . ويتحلل الشريط اللاصق بعد بضعة أسابيع ولا يلزم نزعه . ومع أن البراعم الصيفية تلتئم التئاما جيدا ، إلا أنها تظل سابتة إلى أن يحين فصل الربيع التالى . وإذا ما بدأت فى النمو قطع ساق الأصل فوق البرعم فينشأ الجزء المحمول على النبات من البرعم وله خصائص الصنف الذى أخذ منه البرعم .



شكل (11 ـ 22) التبرعم (التكاثر بالبراعم) فى الخوخ peach (Prunus persica)

أ ـ حفر ساق الشجرة لا ستقبال البرعم .
ب ـ برعم محمى بقلف قطع من شجرة النوع الآخر للتكاثر .
جـ ـ غرس البرعم فى الساق .
د ـ ربط للتثبيت والحماية .

وتستخدم عمليتا التطعيم والتبرعم أساسا للاكثار من النباتات الخشبية التى تنشأ نقية من البذور والتى لا يسهل اكثارها بالعقل . كما أنها تستخدم لجمع نمطين من النباتات مثل تطعيم التوت الباكى weeping mulberry على جذع قائم لتكوين شجرة من التوت على شكل مظلة ، أو تطعيم عدة أصناف من التفاح على نفس الأصل لاستعمالها فى الحدائق . وفى الماضى كان يتم اكثار العنب الاوروبى بالعقل ، أما الآن فإنه يطعم على أصول أمريكية ليقاوم تحمل الجذر root louse المعروف باسم فيلوكسيرا phylloxera .

ومن بين استعمالات التطعيم التى تثير الاهتمام عامة ، انتاج أشجار مثمرة قزمية فى حدائق المنازل أو بساتين الانتاج . ويمكن الحصول على الأشجار المثمرة المتقزمة باستخدام أصول جذرية تعمل على تقزم الطعم . فمثلا بالامكان انتاج أشجار الكمثرى القزمية بتطعيمها على أصول من أشجار السفرجل ، وانتاج اشجار الخوخ القزمية بتطعيمها على أشجار المشمش . وقد استعملت نفس الطريقة فى أشجار التفاح ، أى تطعيم صنف مرغوب فيه على أصول

جذرية لصنف آخر من التفاح يعمل على تقزم الطعم . وليس لهذه الطريقة نفع معين بالنسبة لأشجار التفاح لذلك استعيض عنها باستعمال أصول بينية قزمية dwarfing interstocks أو سيقان بينية interstems تتضمن استعمال أصول جذرية قياسية على شكل بادرات . ففى احدى العمليات تم تطعيم قطعة طولها 4 بوصات من صنف قزمى على أصل فى طور البادرة والصنف المرغوب فيه مثل الصنف الذهبى Golden او الصنف الشهى الاحمر Red Delicious يتم بعد ذلك تطعيمه بطريقة التبرعم على التطعيم الذى يصبح حينئذ اصلا بينيا interstock . أى يظل بين الاصل والصنف الذى يكون الذروة الحاملة للثمار . ومع أن الساق القصيرة الخشبية التى توجد فى الجذع تؤدى إلى تكوين أشجار نصف متقزمة إلا أنها تحمل ثمارا مبكرة .

ومن الأهمية بمكان عند القيام بعملية التطعيم أن يتم الاتصال المباشر بين منطقتى الكامبيوم فى الأصل والطعم . وقد يذكر أحيانا أنه يلزم لتحقيق ذلك تلامس طبقات الكامبيوم نفسها ، إلا أن ذلك يندر تحقيقه من الوجهة العملية . ويقوم الكامبيوم أى خلايا منطقة الكامبيوم ، وكذلك الخلايا رقيقة الجدر التى تكون القلف الداخلى ، بتكوين كتلة من خلايا الكالوس callus ، أو نسيج غير متخصص من الأنسجة التى تلتئم بها الجروح طالما كان الطعم والاصل مغلفين تغليفا محكما ، أو مغطيين بشمع التطعيم لحفظهما من التلف . ويساهم كل من الأصل والطعم فى تكوين نسيج الكالوس . وتتقابل أنسجة الكالوس وتندمج مع بعضها ثم ينشأ كامبيوم جديد داخل الكالوس يربط بين الكامبيوم فى الأصل والكامبيوم فى الطعم . حينئذ ينشط الكامبيوم فيكون باستمرار طبقات من الخشب والقلف التى تسمح بنقل الغذاء والماء والأملاح المعدنية بدون عائق بين الأصل والطعم .

وقد يذكر عادة استحالة القيام بعملية التطعيم فى نباتات ذوات الفلقة الواحدة ، حيث إن نشاط الكامبيوم ضرورى لتكوين الكالوس والتئام الأصل بالطعم . ومع ذلك فقد أمكن القيام بعملية التطعيم فى نباتات ذوات الفلقة الواحدة ، ولكن على نطاق تجريبى فقط . ففى احدى الطرق ، أمكن استغلال ما عرف من أن كثيرا من نباتات ذوات الفلقة الواحدة ، خصوصا النجيليات ، بها منطقة قصيرة فوق العقدة مباشرة تظل مرستيمية لفترة من الوقت بعد أن تتم بقية الساق نموها . وفى هذه الطريقة ينزع الجزء العلوى من الساق بشدة وبذلك يتم تمزيق الخلايا المرستيمية فى منطقة العقدة . ويعامل الطعم الذى له حجم مماثل بنفس الطريقة ، ثم يوضع على قمة الأصل ، وبذلك يتم تلامس المنطقتين المرستيميتين وتدعم منطقة التطعيم بورق شمعى يلف حولها على شكل انبوبة أو بجبائر خفيفة تربط حول الساق . وعندما يتم الالتئام بين الأصل والطعم تتمايز أنسجة وعائية جديدة تعمل على ربط الحزم الوعائية فى كل من الأصل والطعم . وقد أمكن بالفعل اتمام هذا النمط من التطعيم فى نباتات الغاب الهندى bamboo وقصب السكر وغيرها من نباتات ذوات الفلقة الواحدة . والنسبة المئوية لنجاح التطعيم منخفضة وبالرغم من أنه يمكن اعتبار هذه الطريقة ذات نفع فى نوع معين من الدراسة إلا أنه لا يحتمل بأى حال من الأحوال أن تستخدم على نطاق تجارى .

وتبلغ فاعلية عملية التطعيم أقصى مداها إذا نمت بين نباتات قريبة الصلة ببعضها ، وعادة بين نباتات متشابهة أو أنواع ذات صلة وثيقة ببعضها . ومع ذلك قد لا يوجد تجانس بين النباتات قريبة الصلة ببعضها فلا يتم التئام دائم بينها أى أن الأصل لا "يقبل" الطعم . وينتشر لحد ما اجراء عملية التطعيم بين مختلف الأنواع التابعة لنفس العائلة فمثلا يمكن تطعيم أصناف الكمثرى على جذور من السفرجل . وقد اجرى التطعيم أيضا بين مختلف الأنواع التى تتبع كل عائلة من العائلات الآتية وهى المركبة ، والصليبية والوردية والباذنجانية . فقد طعمت أصناف الطماطم على البطاطس والزيتون olive على الليلك lilac والكرسون المائى watercress على الكرنب . وقد تم بنجاح بعض عمليات التطعيم بين نباتات تابعة لمختلف العائلات النباتية . وليس لمعظم عمليات التطعيم التى ذكرت آنفا أية قيمة اقتصادية إلا أننا عرفنا منها الشىء الكثير عن عملية انتقال المواد بين الأصل والطعم ، كما عرفنا منها الأعضاء النباتية التى تختص بتخليق نواتج نباتية معينة . فمثلا التجارب التى اجريت على عملية التطعيم بينت أن تخليق مادة النيكوتين nicotine فى التبغ يتم فى الجذور حيث تنتقل عبر الساق إلى الأوراق حيث تتراكم فيها . وفى هذه التجارب على التطعيم تم اجراء نوعين منها . ففى النوع الأول تم تطعيم الطماطم على أصول من

التبغ وترك الطعم ينمو لمدة شهر تقريبا . وبالتحليل وبعد انقضاء هذه المدة وجد أن أوراق الطماطم الطعم ، التى تمثل الطعم تحتوى على كميات كبيرة من النيكوتين . أما إذا طعم التبغ على اصول من الطماطم وترك لينمو لنفس المدة فإن النيكوتين لا يتراكم بقدر يعتد به ، أى أن كمية النيكوتين به تقارب الكمية التى توجد فى طعم له نفس حجم الطعم الذى استعمل فى عملية التطعيم

الخلاصة : Summary

1 ـ التكاثر الخضرى هو تكاثر يتم بطرق اخرى غير طريق البذور . والفسيلة هى مجموعة من النباتات تتوالد خضريا أو بطريقة التكاثر اللاتزاوجى . وكل الافراد النباتية لأية فسيلة تنشأ من فرد واحد نتيجة لتكرار تكاثره تكاثرا خضريا .

2 ـ التكاثر الخضرى شائع بين النباتات ، وهو ذو اهمية لا بالنسبة للنباتات فحسب ، بل بالنسبة للانسان ايضا . فلو اختفت هذه الطريقة من التكاثر لاصبح من المستحيل اكثار عديد من نباتاتنا التى ينتفع بها إلى أقصى حد ، ولأصبح من المستحيل أيضا الحصول عليها فى أشكالها الحالية . ومع ذلك فالاعشاب تنتشر أيضا وتتكاثر تكاثرا خضريا . وتستغل النباتات التى تتكاثر تكاثرا خضريا فى التغلب على تآكل التربة .

3 ـ فى معظم الحالات يتم التكاثر الخضرى بالسيقان الهوائية أو الريزومات أو الجذور الافقية وقد تستغل البصلات والكورمات والأوراق أيضا فى هذه العملية وتكون السيقان والريزومات اغصانا تخرج من العقد وتحمل جذورا عرضية . أما الجذور الأفقية فإنها تكون براعم عرضية وجذورا .

4 ـ تنشأ البراعم العرضية والجذور عادة من أنسجة النبات الأم ، وتشق طريقها إلى الخارج خلال الأنسجة التى تكتنفها .

5 ـ من بين مميزات التكاثر الخضرى انتاج نباتات ناضجة بمعدل اسرع مما تنتجه البذور . ومن مميزاته ايضا انه وسيلة للاكثار من النباتات التى لا تكون بذورا . أو أن النباتات التى تنشأ من البذور تختلف عن أصولها الأبوية وهى أقل منها فى قيمتها .

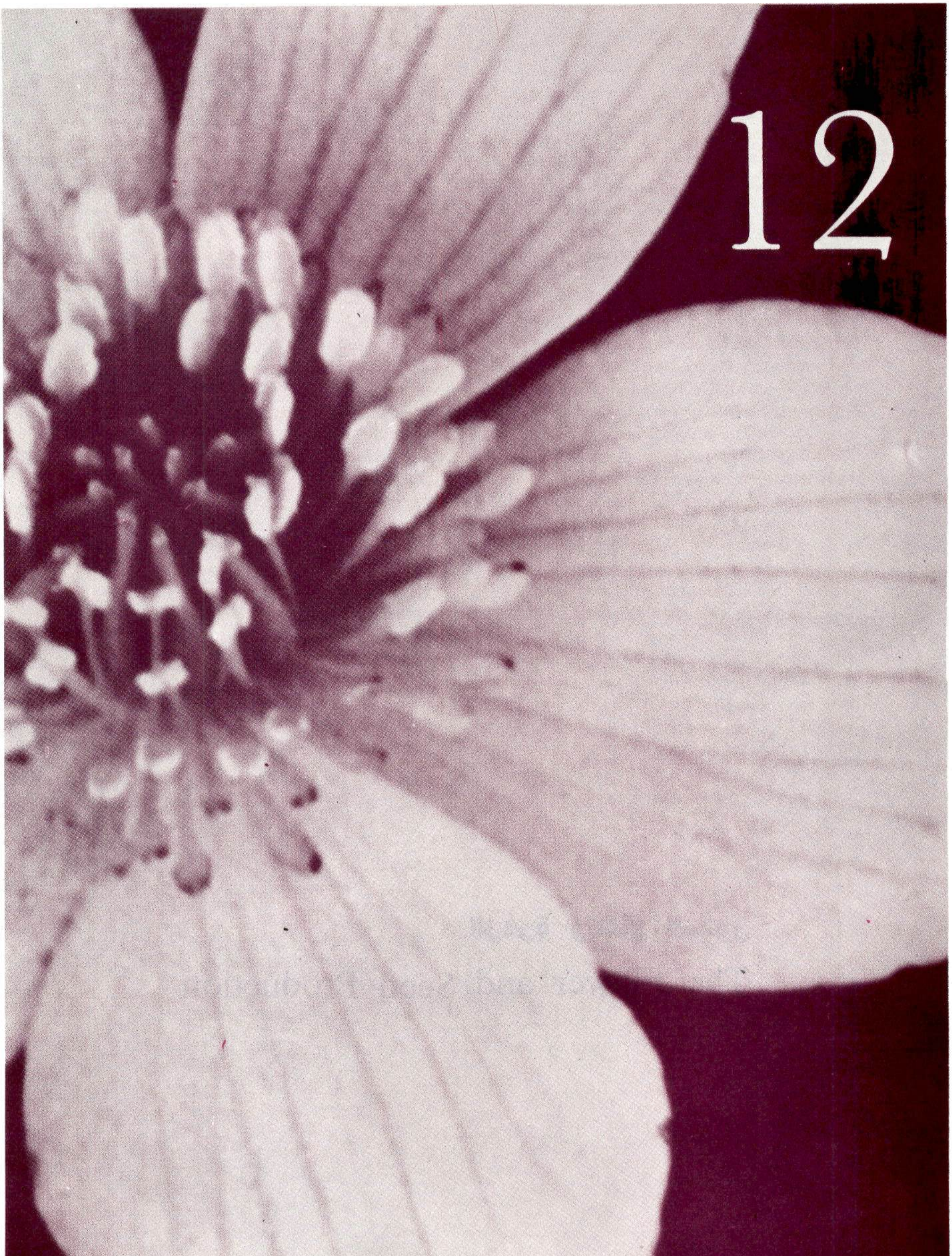
6 ـ تمارس عادة عملية الاكثار من السيقان الهوائية بطريقتين هما العقل (الاقلام) والترقيد . وعقل الساق هى أجزاء منه تحمل عقدا وبراعم . فإذا ما غرست هذه العقل فى رمل أو تربة رطبة نمت الجذور على طرفها السفلى . وتستغل منظمات النمو لحث العقل على تكوين الجذور . وعلى العكس من العقل ، فإن عملية الترقيد تتضمن تكوين الجذور قبل فصلها من النبات الأصلى . .

7 ـ بعض أنماط النباتات تتكاثر بقطع من الأوراق . وفى بعض النباتات تنمو نباتات جديدة مباشرة من حزوز على حافة الورقة .

8 ـ وفى عملية التطعيم يربط ساق أو برعم أحد النباتات (الطعم) بجزء يحمل جذورا أو بجذر من نبات آخر (الأصل) . فينشأ نسيج الكالوس ، ويتكون كامبيوم داخل الكالوس يعمل على ربط كامبيوم الأصل بكامبيوم الطعم . وللأغراض العملية لا تجرى عمليتا التطعيم والتبرعم إلا على النباتات التى تحتوى على كامبيوم مثل النباتات المخروطية ونباتات ذوات الفلقتين . وقد أجريت تجارب التطعيم على بعض نباتات ذوات الفلقة الواحدة ، إلا أن نتائجها ليست لها قيمة اقتصادية .

الزهرة وانتاج البذور

The Flower and Seed Production


12

الزهرة وانتاج البذور
The Flower and Seed Production

خصص الباب السابق بوجه عام لدراسة تراكيب ونشاطات وعمليات الأعضاء الخضرية للنباتات البذرية ، مع التركيز بصفة خاصة على النباتات الزهرية . وقد تقوم الأعضاء الخضرية بوظيفة التكاثر بالاضافة الى نشاطاتها الأخرى . ومع أن الجذور والسيقان والأوراق قد تقوم بوظيفة التكاثر إلا أن الزهرة تختص عادة بهذه الوظيفة . فالزهرة جزء من النبات يساهم فى طريقة التكاثر التزاوجى التى تؤدى الى تكوين البذور ، وبالتالى الى انتاج نباتات جديدة .

وتعتبر عملية تكوين البذور من العمليات الاساسية لاستمرار حياة معظم أنواع النباتات البذرية ، كما تعتبر أيضا من العمليات الاساسية لاستمرار حياة عديد من الأنواع الحيوانية التى تعتمد فى غذائها على البذور . والخلايا والأنسجة التى توجد داخل الزهرة والتى تؤدى الى انتاج البذرة والثمرة تتساوى فى أهميتها من وجوه عديدة ، بالنسبة للانسان وغيره من أشكال الحياة الحيوانية الأخرى مع ماتقوم به الورقة الخضراء من وظائف . والخطوات التى تتم لانتاج الزهرة والبذرة هى وليدة تغيرات تطورية لاحصر لها امتدت عبر فترات طويلة من الزمن . وقد يجد الطالب هذا الموضوع محيرا ، ولكنه بالتأكيد سيثير فضوله .

ومن المظاهر الأساسية لعملية التكاثر التزاوجى عملية الاخصاب ، وهى اندماج الخلايا التناسلية المذكرة بالخلايا او الجاميتات (الأمشاج) Gametes التناسلية المؤنثة لتكوين الزيجوت Zygote . وهذا الزيجوت فى النباتات الزهرية هو البيضة الملقحة Fertilizedegg وتحتوى هذه البيضة الملقحة على كروموسومات من كلا الأبوين ، وهى أول خلية من خلايا الفرد الجديد . وهذه الخلايا تنمو لتكون جنينا داخل البذرة ، وهذا الجنين هو الذى يكون النبات الناضج عندما تنبت البذرة . وحيث إن الجنين يحتوى على ماتساهم به كل من البيضة والسبرم من كروموسومات تحمل الصفات الوراثية ، لذلك تنتقل الامكانيات الموروثة من جيل الى آخر عن طريق البذرة .

وتعتبر الزهرة طورا ظاهرا فى عملية تكوين البذرة . وعادة ماينظر اليها كوحدة واحدة ، وهى فى الواقع تتكون من عدد من الأعضاء . ومع ذلك لايشترك فى تكون البذرة إلا عضوان فقط من هذه الأعضاء وهما الاسدية Stamens والمدقات Pistils . وتكون الاسدية حبوب اللقاح Pollen Grains وهذه بدورها تنتج الأمشاج المذكرة . وتوجد البويضات Ovules داخل الجزء السفلى المنتفخ للمدقة ، وتحتوى كل بويضة على بيضة واحدة . وعندما تستقبل المدقة حبوب اللقاح اثناء عملية التلقيح تتكون الانبوبة اللقاحية . وتتحرك الأمشاج المذكرة او السبرمات داخل هذه الأنبوبة عبر أنسجة المدقة الى أن تصل الى البويضات حيث تطلق محتواياتها ثم يعقب ذلك عملية الاخصاب وتتمايز البويضة الى البذرة .

وإدراك الكيفية التى يتم بها تمايز البذرة يتطلب أكثر من هذا الوصف البسيط إذ أنه يشمل سلسلة من الأحداث المعقدة سواء فى الأسدية أو فى البويضات وذلك قبل عملية الاخصاب . كما يشمل بعد ذلك عددا من المراحل المعقدة

تتساوى فى اهميتها مع ماسبقها . والذى ينظر الى الحياة النباتية لمجرد المشاهدة فقط يغفل عن هذه المراحل ، لأنها تتضمن تغيرات خلوية ذات علاقة وثيقة ببعضها ولايمكن رؤيتها بغير المجهر .

الأعضاء الزهرية The Floral Organs

تختلف الأزهار اختلافا كبيرا فى تركيبها . ومع ذلك فتشابه الانواع المختلفة من النباتات فى صفاتها الجوهرية أعظم بكثير من الاختلاف فيما بينها ، حيث إن جميع الأزهار تتبع بصفة أساسية نفس التصميم النباتى . فكل زهرة من الأزهار تحمل بمفردها على طرف عنق خاص يسمى القمع Pedicel . وقمة القمع حيث تتصل الأجزاء الزهرية وهو عادة متضخم نوعا مايطلق عليه التخت Receptacle (شكل 12 ـ 1) .

وتشبه منطقة التخت فى الازهار الصغيرة قمة الفرع للساق الخضرية ، ولكن بدلا من ان تكون أوراقا ، فإنها تحمل بصفة نمطية أربعة أنواع من الأعضاء الخضرية (شكل 12 ـ 1) وهى دائما مرتبة بنفس النظام . وأول هذه الأعضاء الزهرية ابتداء من قاعدة الزهرة ، هى السبلات الاوراق الكأسية Sepals وهى مجتمعة تكون الكأس Calyx وثانى هذه الاعضاء فى اتجاه المركز هى البتلات الاوراق التويجية Petals ويطلق عليها مجتمعة اسم التويج Corolla . ويكون الكأس والتويج معا الغلاف الزهرى Perianth . والاوراق الكأسية عادة خضراء اللون وتشبه الأوراق لحد ما ، أما التويجية فهى إما بيضاء أو ملونة . وبعض الازهار مثل الفوشيا Fuchsia ، والعائق Delphinium ، والسوسن ، وكذلك الحمامى (بلون الحمامة) Columbine ، لها سبلات ملونة تشبه البتلات ولكن يمكن تمييزها بالحجم والشكل معا . الا انه فى بعض النباتات مثل الزنابق ، والخزامى Tulips ، تتلون الاوراق الكأسية مثل التويجية كما انها تشبهها فى الحجم والشكل . وفى مثل هذه الحالات يطلق على المكونات الفردية للغلاف الزهرى اسم الاوراق التويجية .

والتويج هو غالبا أوضح أجزاء الزهرة وهو الجزء الوحيد الذى يبدو للعيان لكثير من الناس ، إلا أنه فى بعض النباتات مثل الكليماتس Clematis وبقلة الكبد Hepatica ، وشقائق النعمان Anemone ، وكذلك الجرغوس Marsh Marigold ، تكون الاوراق الكأسية هى ابرز الأجزاء الزهرية بسبب صغر الاوراق التويجية وغيابها (شكل 12 ـ 7) . وفى بنت القنصل Poinsettia ، وكذلك القرنوس ، تختزل أوراق الغلاف الزهرى بدرجة كبيرة أوتصبح غير واضحة ، أما التراكيب التى يخطئون فى تسميتها بالاوراق التويجية فهى فى الواقع أوراق متحورة (قنابات) تحيط بمجموعة من الازهار الصغيرة غير الواضحة (شكل 12 ـ 2) .

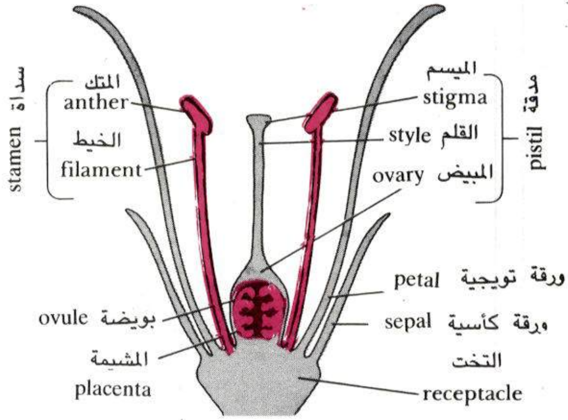
وفوق الاوراق التويجية توجد الاسدية وتتكون كل سداة بصفة نمطية من عنق رفيع طويل يطلق عليه الخيط Filament ينتهى بجزء متضخم هو المتك Anther الذى يحتوى على حبوب اللقاح .

وتوجد المدقة (او المدقات) فى مركز الزهرية . وهى عادة قارورية الشكل جزؤها القاعدى منتفخ هو المبيض Ovary، ويتصل القلم Style بالمبيض الذى يمتد على شكل عنق ويتفلطح نهايته ليكون الميسم Stigma . والميسم الذى يستقبل حبوب اللقاح قد يكون خشنا او ناعما او لزجا أو متفرعا او ريشيا وتتميز النباتات ريحية التلقيح على وجه الخصوص بالنمط الريشى للمياسم .

المدقة والكربلة : Pistil and Carpel

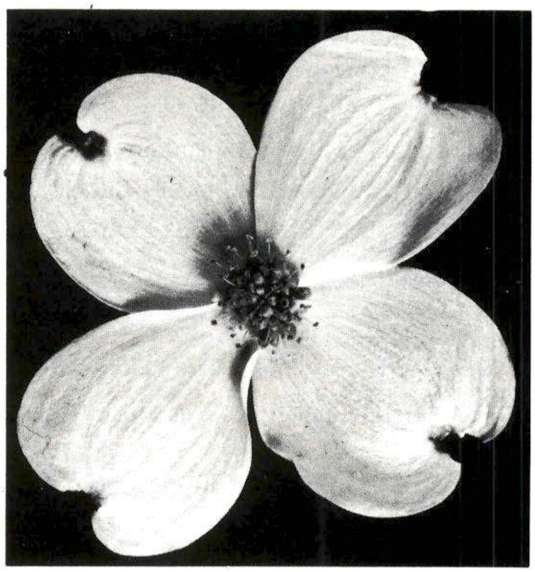
المدقات اما بسيطة Simple أو مركبة Compound ، وتتركب المدقة المركبة من وحدتين أو أكثر يطلق عليها الكرابل Carpels ، وهى تراكيب تشبه الاوراق فى صفات معينة ، والبويضات التى تتمايز بعد ذلك الى بذور تحمل على السطح الداخلى للكرابل قرب حوافها . والمنطقة أو سطح الكربلة الذى تتصل به بويضة واحدة أو أكثر يعرف بالمشيمات Placenta ، تشبيها بالعضو الذى يصل جنين الثدييات بأنسجة الام . ولاتحتوى المدقة البسيطة إلا على كربلة واحدة . وقد تحتوى الزهرة على مدقة بسيطة واحدة لاغير كما فى البازلاء (شكل 12 ـ 3) والفاصوليا ، ففيهما صف من البويضات متصلة بالحواف الملتحمة للكربلة الواحدة (12 ـ 14) . أما فى أزهار النباتات الأخرى مثل الحوذان Buttercups والماجنوليا Magnolia (شكل 12 ـ 6)وأشجار الخزامى Tulip Tree وعود الريح Peony والحمامى Columbine ، وكذلك السيدوم Stonecrops (شكل 12 ـ 10) فيوجد بها عدد من المدقات البسيطة . إلا أنه اذا وجد عدد من الكرابل فانها غالبا ماتلتحم معا لتكون مدقة مركبة ولاتنتج الزهرة الا مدقة واحدة فقط من هذه المدقات (اللوحة ـ 4)

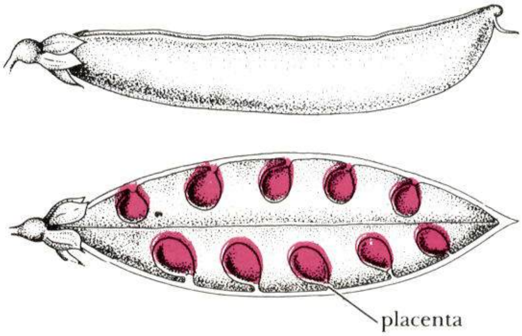
هناك طريقتان تلتحم بهما الكرابل لتكوين مدقة مركبة . الأولى أن تتفتح الكرابل انفتاحا تاما أو تتفتح تفتحا جزئيا ثم ترتب ترتيبا دائريا شبيها بترتيب عوارض البرميل ، وبهذا تحيط بتجويف واحد (حجرة Locule) . وتلتحم حواف الكرابل المتجاورة ، وعلى ذلك تتكون كل مشيمة من التحام حواف الكربلتين المتجاورتين . وفى هذه الحالة يعتبر ترتيب البويضات وهو مايسمى بالوضع المشيمى Placentation ،



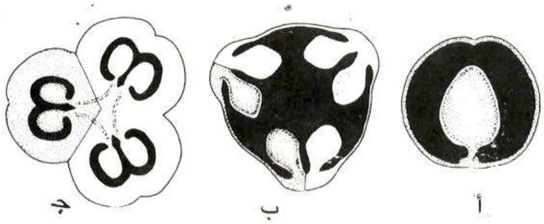
شكل (12_1) رسم تخطيطى يوضح اجزاء الزهرة

شكل (12_2) زهرة نبات القرنوس dogwood (Cornus Florida) غير ان الزهرة ماهى الا تجمع من زهيرات صغيرة يحيط بها اربعة نموات تشبه اوراق التويج .





شكل (12_3) (الاعلى) قرن بازلاء مكتمل النمو تقريبا (السدادة عضو بسيط) . تبدو اوراق الكاس عند نقطة الالتحام وبقايا القلم والميسم عند الطرف الآخر . (الاسفل) فتح عضو التأنيث (المدقة) كاشفا عن اتصالات البذور .



شكل (12_4) مقاطع عرضية فى اعضاء التأنيث

أ ـ المدقة فى الفاصوليا . التمشيم جدارى marginal placentation

ب ـ المدقة مركبة فى البنفسج violet الكربلات فيها منتشرة حافيا . التمشيم حافى parietal placentation

جـ ـ المدقة المركبة لزهرة الزنابق إتحدت الكربلات على طول جوانبها . التمشيم محورى axile placentation المساحات المظللة تمثل كربلة واحدة وبويضاتها .

من النوع الجدارى Parietal ، لأن البويضات فى هذه الحالة تحمل فى صفوف على الجدار الداخلى للمبيض (شكل 12 ـ 4ب) . وفى هذه الحالة يتساوى عدد المشيمات مع عدد الكرابل . أما فى الطريقة الثانية فان الكرابل تغلق كما أنها تلتحم على طول جوانبها بينما تمتد حوافها نحو المركز أو المحور . ويطلق على هذا الوضع المشيمى مركزى Axile (شكل 12 ـ 4جـ) . وفى الوضع المشيمى المركزى يتساوى

عـدد الحجرات مـع عدد الكـرابـل . ولايطلق الاصطـلاحـان الجـدارى والمركـزى إلا على المدقات المـركبة ، أمـا اذا كانت المدقـة بسيطـة فـإنــه يطلق عـلى الـوضـع المشيمى حـافى Margin al (شكـل 12 ـ 14أ) . وتـعتبـر هـذه الطـرز مـن الأوضاع المشيمية مميزات على جانب كبير من الأهميـة وينتفع بها كثيرا فى التعرف على الفصائل النباتية المختلفة .

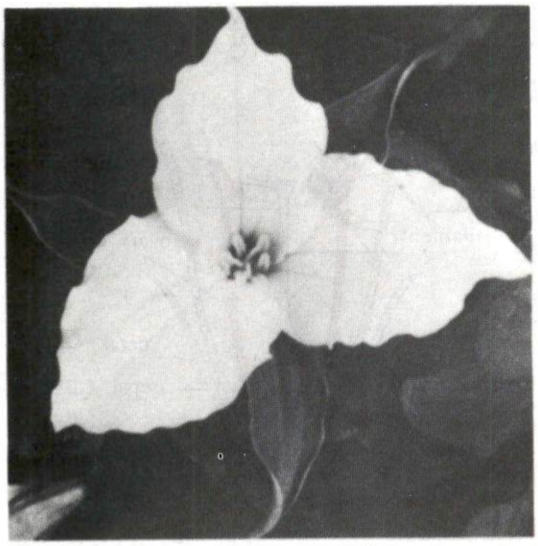
تحـورات الـزهـرة Modifications of the Flower .

بالرغم من ان جميع الازهار لها نفس التصميم التركيبى، الا ان نظامها يتعرض لعدة تحورات. وعدد معين من هذه التحورات يزيد من احتمالات عملية التلقيح. وبالاضافة الى ذلك تكشف هذه التحورات اللثام عن العلاقات التطورية التى بين النباتات، وبذلك تتيح الفرصة للمهتمين بدراسة النباتات بوضع الأنماط المتقاربة معا، كما تتيح لهم الفرصة لتصنيف النباتات الزهرية تبعا لتسلسلها من أبسط الأنماط الى أرقاها وأعظمها تخصصًا.

عدد وترتيب الاجزاء الزهرية: Number and Arrange-ment of Floral Parts

ترتب أجزاء الزهرة عادة فى محيطات أو حلقات ويوجد أربع او خمس حلقات فى الزهرة، محيط واحد من الاوراق الكأسية ومحيط واحد من الاوراق التويجية ومحيط واحد أو محيطان من الاسدية ومحيط واحد من الكرابل تلتحم معا لتكون مدقة مركبة. ويختلف عدد الاجزاء فى كل محيط باختلاف النوع، إلا أن هذا العدد ثابت وقليل عادة.

وتنقسم كاسيات البذور الى قسمين فرعين كبيرين يتميزان عن بعضهما بعدد الاعضاء الزهرية التى توجد فى كل محيط. فالعدد فى ذوات الفلقتين هو أربعة أو خمسة او مضاعفات هذين العددين. فقد تحتوى الزهرة مثلا على خمس اوراق كأسية وخمس بتلات وعشر أسدية وخمس كرابل. ومع ذلك فقد لاتتكون المدقة المركبة الا من كربلتين فقط. أما فى ذوات الفلقة الواحدة فعدد الاعضاء فى كل محيط هو ثلاثة أو مضاعف ثلاثة (شكل 12ـ5). فزهرة الزنبق مثلا



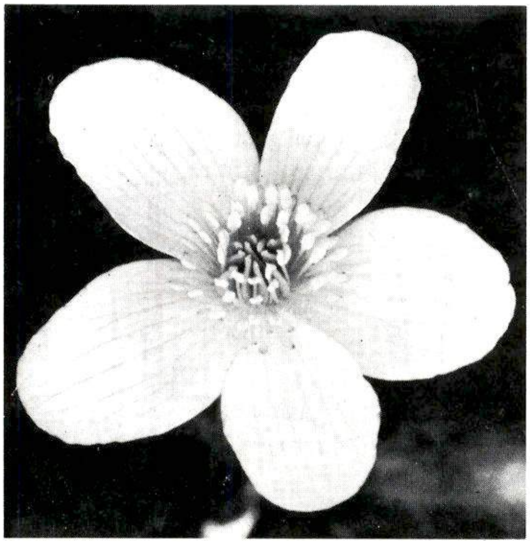
شكل (12ـ5) زهرة الترليوم trillium (Trillium grandiflorum) وهو من نباتات الفلقة الواحدة . للزهرة ثلاث اوراق كاسية وثلاث تويجية وست اسدية ومدقة مؤلفة من (3) كربلات .

تحتوى على غلاف زهرى به ثلاثة أسدية أو ستة اجزاء كما تحتوى على ست أسدية وثلاث كرابل.

إلا أنه توجد عوائل نباتية معينة تحت القسمين، بها عدد من الاسدية والكرابل. ومن بين عوائل نباتات ذوات الفلقتين التى توجد فيها هذه الحالة، عائلة الماجنوليا magnolia (شكل 12ـ6) وعائلة نبات الحوذان buttercup (شكل 12ـ7) وعائلة نبات الورد rose ، وعائلة زنابق الماء water lily . أما فى نباتات ذوات الفلقة الواحدة فتوجد عائلة نبات لسان الحمل water plantain. وفى بعض هذه العوائل لاترتب الاسدية والكرابل العديدة ترتيبا سواريا (حلقيا)، بل ترتب حلزونيا ويعتبر الجمع بين النظام الحلزونى وتعدد الاسدية والكرابل دليلا على أن هذه المرحلة أكثر بدائية واقل تطورا من النظام السوارى الذى يختزل فيه عدد الاجزاء الزهرية.

التحام الاعضاء الزهرية: Fusion of Floral Organs

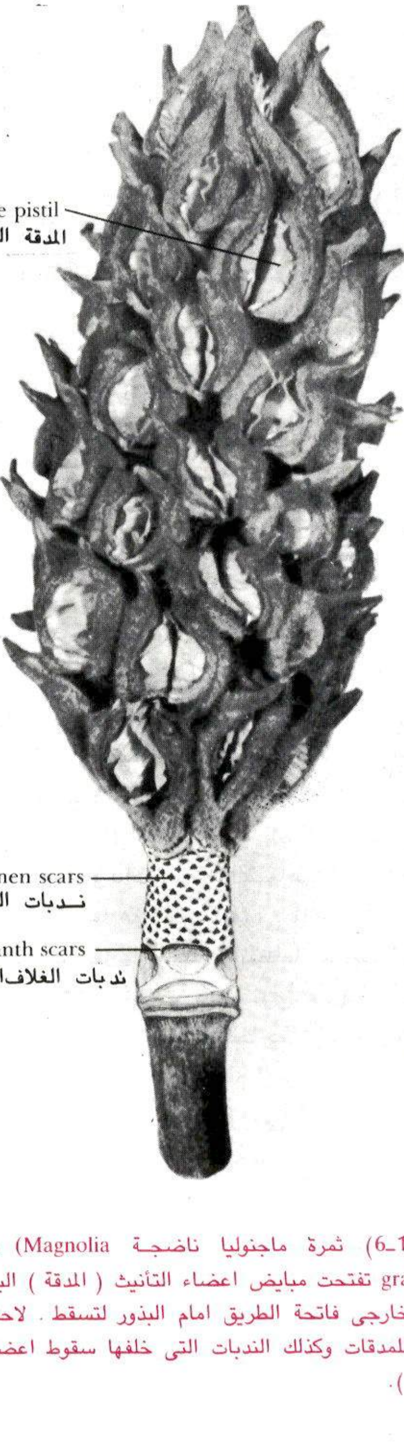
من بين التحورات الهامة التى توجد فى الزهرة التحام الاعضاء معا سواء اعضاء المحيط الواحد او اعضاء



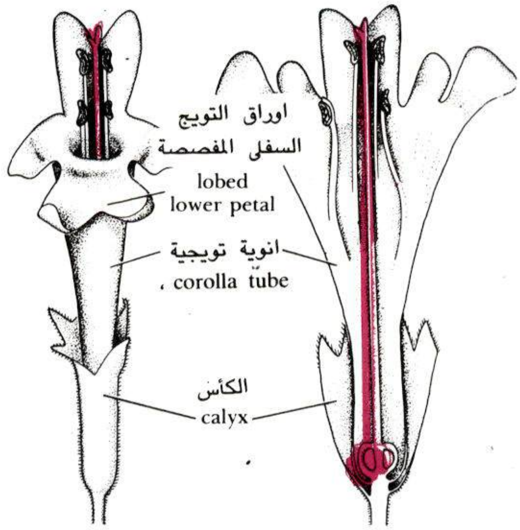
شكل (12ـ7) زهرة نبات الجرغوس march marigold (Caltha Palustris) من نباتات الفلقتين ومن عائلة شقائق النعمان buttercup ، للزهرة العديد من الاسدية تحيط بعناقيد من اعضاء التأنيث البسيطة فى الوسط . ليس للزهرة اوراق تويجية وحلت محلها اوراق كاسية تشبه التويج .

المحيطات المختلفة . ففى كثير من الازهار مثلا تلتحم الاوراق التويجية او (تتلاصق) على امتداد حوافها لتكون الانبوبة التويجية corolla tube ولهذه الانبوبة عادة فصوص (شكل 12ـ8) وفى العادة يتساوى عدد هذه الفصوص مع عدد الاوراق التويجية وغالبا ما تنفصل الاوراق الكأسية عن بعضها ولكنها قد تلتحم احيانا عند قاعدتها لتكون انبوبة ضحلة. وقد تنفصل الاسدية ايضا او قد تلتحم خيوطها او متوكها لتكون مجموعة واحدة او عدة مجاميع. وفى بعض الاحيان تلتحم خيوط الاسدية التحاما جزئيا او كليا (او تندمج) مع انبوبة التويج (شكل 12ـ8). وكما ذكرنا من قبل فإن الكرابل قد تنفصل عن بعضها أحيانا او قد تلتحم، وهذا هو الاكثر شيوعا مكونة المدقة المركبة.

وفى الزهرة التى تنفصل فيها أجزاؤها يبدو بوضوح اتصال الاوراق الكأسية التويجية والأسدية بالتخت الذى يوجد أسفل المبيض. ولما كان المبيض يوجد أعلى منطقة الاتصال فانه يوصف بأنه علوى superior (شكل 12ـ9 على



شكل (12ـ6) ثمرة ماجنوليا ناضجـة magnolia (Magnolia grandiflora) تفتحت مبايض اعضاء التأنيث (المدقة) البسيطة على السطح الخارجى فاتحة الطريق امام البذور لتسقط . لاحظ الترتيب الحلزونى للمدقات وكذلك الندبات التى خلفها سقوط اعضاء التذكير (الاسدية).



شكل (12_8) زهرة النعناع (متسلق أرضى) mint, ground ivy
(Glechoma hederacea)
ويوضح الشكل التحام الاعضاء الزهرية والتماثل غير المنتظم فى الزهرة

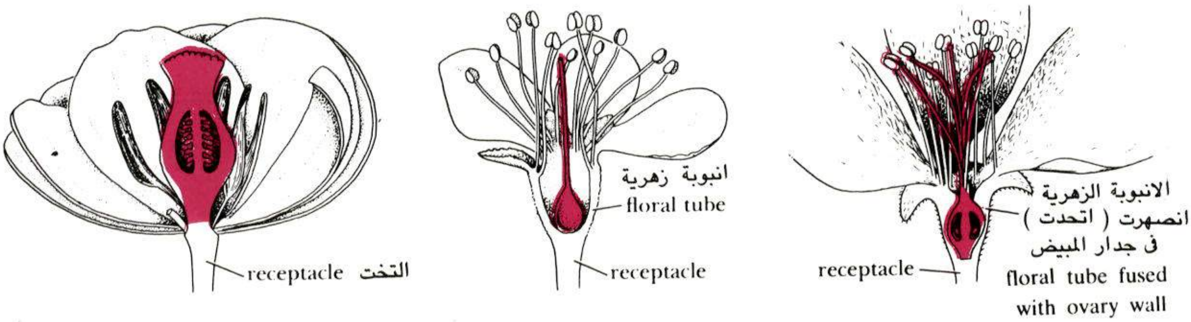
الشمال) وتوجد هذه الحالة فى عدد كبير من النباتات الزهرية. وفى البرقوق plum والكرز cherry والتوت الشوكى black berry وغيرها من الانواع تلتحم الاجزاء القاعدية للاوراق الكأسية والتويجية والاسدية لتكون الانبوبة الزهرية Floral tube (ويطلق عليها ايضا الانبوبة الكأسية calyx tube) وهى كأسية الشكل. وتبرز فصوص الاوراق الكأسية والتويجية ومعها الاجزاء غير الملتحمة من الاسدية من حواف هذه الانبوبة. وايضا يعتبر المبيض فى هذا النمط من الازهار مبيضا علويا (شكل 12ـ9 فى المركز).

وهناك نمط آخر من الالتحام وفيه تلتحم الانبوبة الزهرية بالمبيض. وفى هذا النمط، يبدو للعيان أن الاوراق الكأسية والتويجية والأسدية تخرج من أعلى المبيض ويوصف المبيض فى هذه الحالة بأنه سفلى inferior (شكل 12ـ9 على اليمين) والواقع انه فى هذه الحالة ايضا مازال المبيض هو أعلى تركيب فى الزهرة، تماما كما فى الأزهار ذات المبيض العلوى ويبدو المبيض سفليا وذلك لالتحامه بالانبوبة الزهرية. وتوجد المبايض السفلية فى عوائل نباتية مثل عائلة نبات الجزر carrot وعائلة نبات الجريس bluebell وعائلة نبات عباد الشمس sun flower وعائلة نبات زهر الربيع المائى evening prim rose وعائلة نبات السوسن iris وعائلة نبات الكاكتس cactus وعائلة نبات الاركيد orchid. ووضع المبيض سواء أكان سفليا أو علويا له اهميته ومغزاه فى تصنيف النباتات، كما يساعد فى التعرف على طبيعة أنماط كثيرة من الثمار.

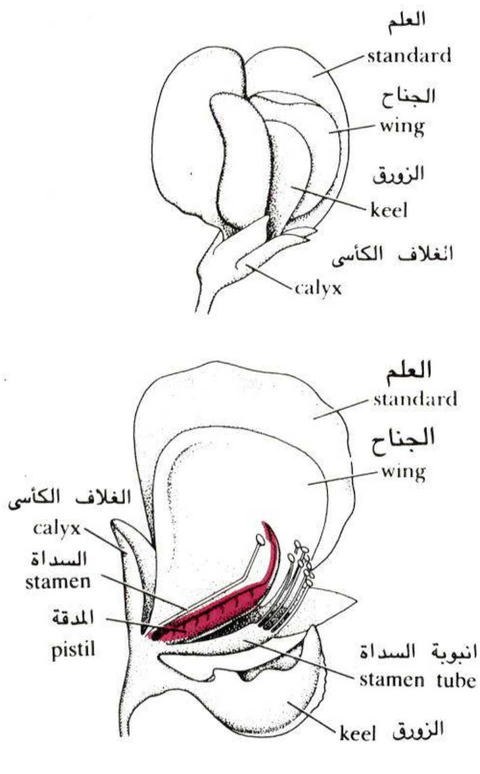
والتحام الاجزاء الزهرية سواء الاوراق التويجية لتكون أنبوبة أو الكرابل لتكون مدقة مركبة او التحام جدار المبيض مع الانبوبة الزهرية ماهى الا مراحل تطورية. ولاتلتحم هذه الاعضاء أثناء عملية تمايز الزهرة بل إنها تلتحم منذ بداية نمو الخلايا الجنينية التى توجد فى قمة المحور الزهرى.

تماثل الزهرة Symmetry of the Flower

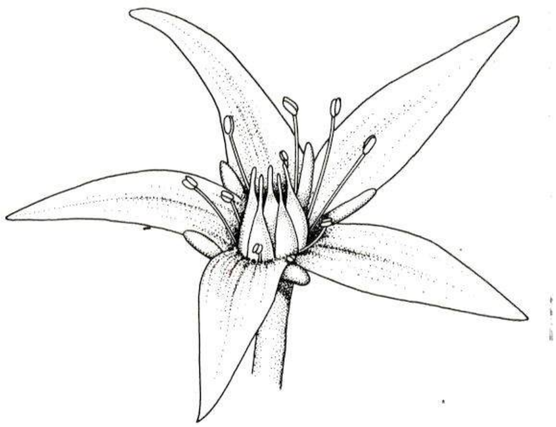
فى كثير من الازهار تتشابه جميع اجزاء كل محيط فى الحجم والشكل، وبذلك يمكن تقسيم الزهرة الى جزءين متماثلين بأكثر من مستوى طولى واحد (12ـ10) ومن أمثلة ذلك أزهار الطماطم والتفاح والبتونيا ونجمة الصباح وكثير غيرها. ومثل هذه الازهار ذات ـ التماثل القطرى تسمى منتظمة regular أو ذات النظام الشعاعى actinomorphic (والمعنى اللفظى لها هو نظام شعاعى ray – formed) أما الازهار الاخرى فانها تنتظم انتظاما جانبيا اى يمكن تقسيمها الى جزءين متماثلين بمستوى عمودى واحد فقط. وهذه الازهار المتماثلة تماثلا جانبيا يطلق عليها الازهار غير المنتظمة irregular أو ذات النظام الزوجى (والمعنى اللفظى لها هو نظام قرينى او نظام زوجى yoke – or pair formed) وفى مثل هذه الازهار يتحور التويج بدرجة اكبر من تحور الاجزاء الزهرية الاخرى ففى بازلاء الحديقة (شكل 12ـ11) تتفلطح البتلة العليا الوحيدة بدرجة كبيرة ويطلق عليها العلم standard ، أما البتلتان الجانبيتان يطلق عليهما الجناحين wings وهما صغيرتان بدرجة كبيرة، والبتلتان السفليتان الباقيتان تلتحمان على امتداد أحد الحواف لتكونا الزورق Keel، وهو يحيط بكل من الاسدية والمدقة. وتنفصل السداة العاشرة عن بقية الاسدية. والامثلة الاخرى للازهار غير المنتظمة هى أزهار نبات حنك السبع snap dragons



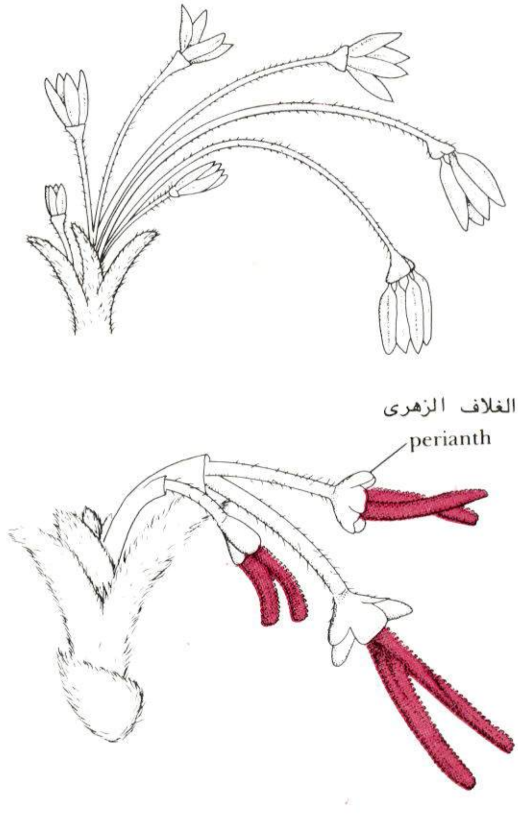
شكل (12_9) ازهار ذات مبايض علوية وسفلية .
(اليسار) زهرة تفاح مايو May apple (Podophyllum peltatum)
المبيض علوى ovary superior
(الوسط) زهرة الكرز المر (الحريف) sour cherry (Prunus cerasus)
المبيض علوى اتحدت الاعضاء الزهرية مكونة انبوبة زهرية .
(اليمين) زهرة التفاح apple (Pyrus malus) ذات المبيض السفلى inferier ovary نتيجة لاتحاد الانبوبة الزهرية فى جدار المبيض



شكل (12_11) زهرة غير منتظمة للبازلاء
garden pea (Pisum sativum)
(الاعلى) منظر خارجى للزهرة
(الاسفل) قطاع طولى



شكل (12_10) زهرة منتظمة regular flower
لنبات السيدوم stone crop (Sedum)

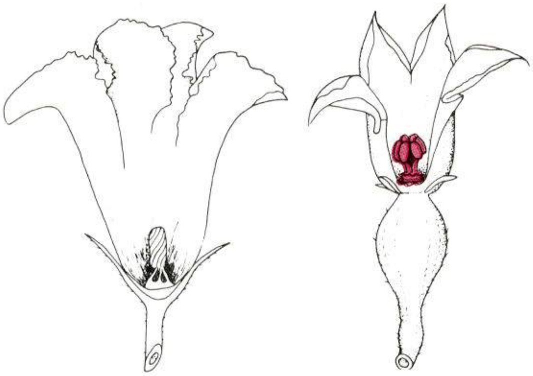


شكل (12ـ12) ظهور نبات البيلسان box elder (Acer negundo)
وحيدة الجنس المختزلة unisexual .
(الاعلى) زهور مذكرة .
(الاسفل) زهور مؤنثة ـ اختزل الغلاف كثيرا . هذا النوع من ذوات الفلقتين بسبب ان زهرتى الجنسين تنتجان من شجرتين مختلفتين .

والنعناع mints (شكل 12ـ8) والبنفسج violets والاركيدات orchids وعادة ماتلقح الازهار غير المنتظمة بالحشرات، وغالبا ماتؤدى حشرة النمل هذه العملية.

الاختزال فى الزهرة Reduction in the Flower

تسمى الزهرة كاملة complete اذا أمكن بسهولة تمييز الاعضاء الزهرية الاربعة عن بعضها وهى الاوراق الكأسية والتويجية والاسدية والمدقة. الا أن هذا النوع كما ذكرنا من



شكل (12ـ13) حالة احادية المسكن monoecious لنبات القرع squash (Cucurbita maxima)
(اليسار) زهرة مذكرة (اليمين) زهرة انثوية وتحملان على نبتة واحدة

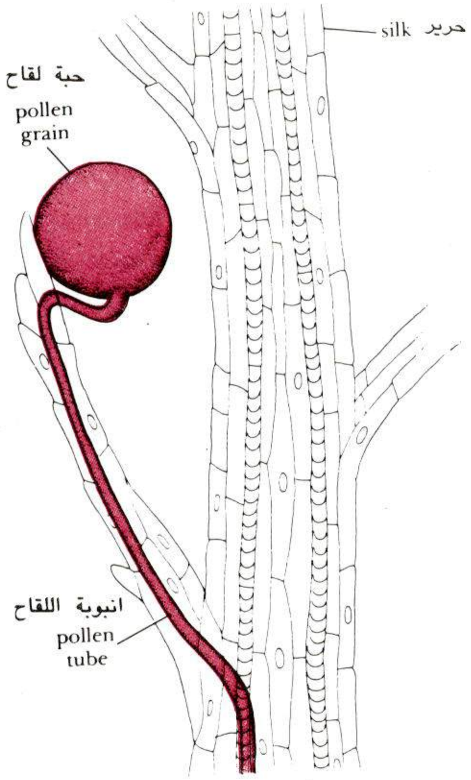
قبل ليس هو النوع الوحيد من الازهار فقد تختزل الزهرة بحيث لاتبدو بعض الاعضاء واضحة بالرغم من أنها قد توجد فى صورة اثرية يمكن التعرف عليها باقتفاء اثرها ففى كثير من النباتات مثلا تختفى البتلات ولايمثل الاوراق الكأسية الا حراشيف او سفايات او اسنان او نتوءات والزهرة التى تفتقر الى كأس او تويج او الى كليهما يطلق عليها الزهرة غير الكاملة incomplete والنباتات التى اصبحت فيها اجزاء الغلاف الزهرى دقيقة وغير واضحة تشمل النجيليات وعديدا من الاشجار مثل اشجار الصفصاف willow والحور والبيلسان (Acer negundo) (شكل 12ـ12) والبلوط والجوز الامريكى والدردار والغلاف الزهرى الواضح لايعتبر مظهرا أساسيا من مظاهر الزهرة، وهذا هو عكس الاعتقاد الشائع وبالاضافة الى ذلك فان عبارة الاشجار والازهار لاتعنى شيئا لأن جميع اشجار نباتات كاسيات البذور لها أزهار.

وقد يمتد اختزال عدد الاجزاء فيشمل الاسدية والمدقات والزهرة التى يوجد بها كلا النوعين من الاعضاء ويقوم كل عضو بوظيفته يطلق عليها زهرة ثنائية الجنس bisexual. وفى غياب الأسدية او الكرابل او عدم قيامهما بوظيفتهما فانه يطلق عليها زهرة وحيدة الجنس unisexual. والازهار وحيدة

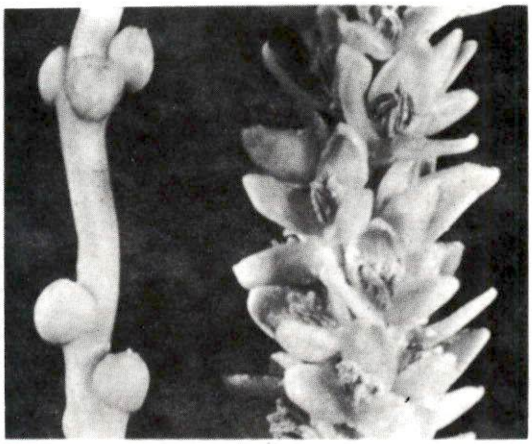


شكل (12ـ14) الذرة (corn (Zea mays
نبات احادى المسكن monoecious
(اليسار) شرابة tassel متفرعة، نوارات مذكرة Staminate inflorescence وتحمل الازهار المذكرة
(على اليمين) كوز ذرة فتى (نوارات مؤنثة) ويتكون من المحور والكوز الذى يحمل الزهور المؤنثة فى صفوف ، ويحمل كل مبيض على حريرة واحدة وهى الميسم والقلم فى آن واحد

الجنس اما ازهار مذكرة Staminate فى حالة غياب المدقة او ازهار المؤنثة Pistillate فى حالة غياب الاسدية. وقد يوجد الغلاف الزهرى او لايوجد فى الازهار ثنائية الجنس والازهار احادية الجنس على السواء. وقد يوجد كلا النوعين من الازهار وحيدة الجنس على نفس النبات مثل الذرة وكثير من انواع البيجونيا begonias والقرع (شكل 12ـ13) وانواع اخرى من اليقطين cucumber pumpkin وانواعها عشبة البرك وزنابق الكالا calla lilies وكثير من النباتات الخشبية مثل البلوط والزان والقان والجوز والجوز الامريكى hockories ويطلق على مثل هذه النباتات احادية المسكن manoecious. ففى نبات الذرة (شكل 12ـ14) تحمل الازهار المذكورة على شرابة متفرعة branched tassel فى أعلى النبات. أما الازهار المؤنثة فتحمل على محور الكوز cop او السنبلة وتحاط بالعصاقة husk وتتكون كل زهرة مؤنثة من مبيض يتصل به احد الشواشى يطلق عليه الحرير silk وهو شبيه بالخيط ويبلغ طوله 4ـ12 بوصة. وهذا الحرير يحمل شعورا عديدة تتصيد حبوب اللقاح وتوجد هذه الشعور حتى على جزء الحرير المغطى بالعصيفات ، ولكن أكثرها عددا يوجد قرب قمة الحرير . وعلى ذلك فكل خيط من خيوط الحرير يعمل عمل القلم والميسم مجتمعين (شكل 12 ـ 15)



شكل (12ـ15) انبات حبة لقاح pollen grain الذرة على شعرة من الحرير .



شكل (12ـ16) ازهار التمر محمولة على اسبطة (شماريخ) نقلت من عنقود زهرى كبير (اليسار) ازهار مؤنثة (اليمين) ازهار مذكرة

وفى النبـاتات ثنـائيـة المسكن dioecious تحمـل الأزهـار المـذكرة والأزهـار المؤنثة عـلى نباتـات مختلفة لنفس النـوع . وتـوجد أمثلـة لهذه الحـالة فى نبـاتات المـران ashes والقيقب maples وفى السبـانخ spinach وشجـرة الفـردوس tree of heaven (Ailanthus) والهليون asparagus والقنب الهندى hemp (Cannabis) ونخـل البلح date palm (شكـل 12 ـ 16) وحشيشة الدينار hops والصفصاف willows وشرابـة الـراعى holly ، واشجار الجـوز poplars والدبق الامـريكى American mistletoe

وربما يمثل نخـل البلح اقدم ما عـرف من نباتـات ثنائيـة المسكن ، وتشـير السجلات إلى أن هـذه الشجرة قـد زرعت فى بلاد ما بين النهرين منذ 3500 ق . م . فقد عرف مزارعو هذه المنطقة انه يوجد أشجار مذكرة واخرى مؤنثة ومارسـوا عملية التلقيح الصناعى فكانوا ينقلـون اسبطة من الأزهـار المذكـرة ويضعـونها لتـلامس الازهار المؤنثـة . والطـرق المتبعـة الآن لانتـاج البلـح من النخيـل تختلف بعض الشىء عما اتبـع فى الماضى . فتزرع الأشجار المذكرة التى تنتج حبـوب اللقاح مـع الأشجـار المؤنثة التى تحمـل الثمار . وقـد يمكن تحقيق ذلـك بعملية التكاثر الخضرى وذلك بزرع الفسائـل (أفراخ) التى تخرج من قاعدة الشجرة الام . فالجنس وكذلـك نوعيـة الثمار



شكل (12ـ17) التلقيح الاصطناعى لازهار النخيل
أـ الازهار المذكرة توضع وسط التجمع الزهرى المؤنث
ب ـ عنقود مؤنث تفتح حديثا وجهز للتلقيح
جـ ـ عنقود مؤنث بعد التلقيح لف العنقود بخيط لتجميعه حول الازهار المذكرة الموضوعة

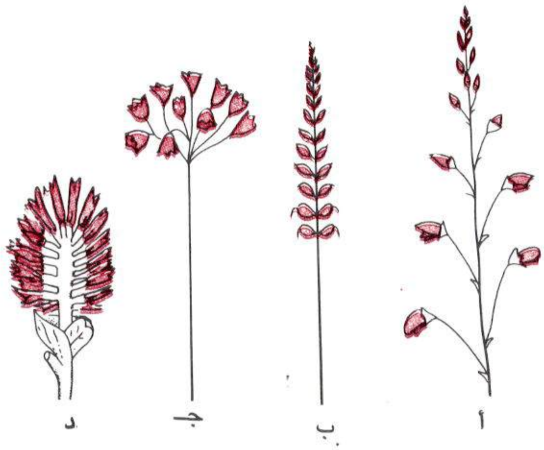
التى تحملهـا الاشجار المؤنثـة تتحدد سلفـا لأن الخلفة تنتـج دائمـا شجرة تشبـه الأصل تمـاما . ومـازالت عملية التلقيـح تجرى حتى الآن باليد ، ويستخدم لذلك عدة طرق ، والطـريقة الشـائعة هى تنكيس عـدة اسبطة من الازهـار المـذكـرة بـين اسبطة من الازهار المؤنثة (شكل 12 ـ 17) . فتنتشر حبـوب اللقاح وتساق إلى مياسم الأزهار المؤنثة .

النورات Inflorescences

تحمـل الأزهـار أحيـانـا منفـردة كمـا فى الـزنبق tulip او السيكلامين cyclamen ، إلا أنها عادة ما تتجمع عـلى المحور الزهرى أو فروع من هذا المحور على شكل عنقود أو مجموعة . ويطلق عـلى مثل هـذه المجموعـة اسم النورة inflorescence ويختلف تـرتيب الأزهار فى النـورة اختلافـا كبيرا بحيث يمكن التعـرف على أنمـاط كثيرة من النـورات وتسميتها بـاسمائهـا المميزة . ولما كان أى نمط من انماط النورات خاصا وثابتـا لكل نوع أو جنس أو حتى لكل عائلة من العوائل النباتية . فإن هذه الانماط تعتبر ذات فـائدة فى التعـرف على النبـاتات . والجـزء

الذى يؤكل من القرنبيط العادى وقرنبيط بروكولى broccoli هو نوره لأزهار لم تتمايز بعد ، ومعها مجموعة من الفروع اللحمية المكتنزة التى تحمل هذه الأزهار ويوجد أنواع معينة من الثمار تتكون من النورات (الباب 13) وسنذكر هنا بعضا من أنماط النورات البسيطة الاكثر شيوعا .

ففى النورة الراسيمية raceme (شكل 12 ـ 18 أ) تترتب الازهار المعنقة على امتداد محور زهرى واحد كما فى زنبق الوادى lily of the – valley والتوت الشوكى وتشبه السنبلة spike (شكل 12 ـ 18 ب) النورة الراسيمية ، إلا أن الأزهار جالسة (بدون قمع) كما فى نبات لسان الحمل الشائع (plantago) ، وهو من الأعشاب واسعة الانتشار . وتشبه النورة الهرية catkin (شكل 12 ـ 34 على اليسار) السنبلة ، إلا أن الأزهار وحيدة الجنس ، وليس لها غلاف زهرى ، وتنتثر النورة المذكرة بعد التزهير كوحدة قائمة بذاتها . وتحمل النورة الهرية فقط على النباتات الخشبية . وفى النورة الخيمية umbel (شكل 12 ـ 18 جـ) تقصر سلاميات المحور الزهرى بحيث تظهر أقماع الأزهار كأنها تخرج من نقطة واحدة ، وهى تشبه فى ذلك أسلاك المظلة . والنورة الخيمية عادة مركبة ، كما فى عائلة نبات المقدونس parsley . وفى النورة الخيمية المركبة تتشعب الافرع الاصلية مرة ثانية ، والأفرع النهائية هى التى تكون الأقماع . وآخر ما يذكر من هذه الانماط هو الهامة head (شكل 12 ـ 18 د) وتتكون من عدد كبير من أزهار جالسة أو شبه جالسة تتزاحم على فرع زهرى قصير جدا يتفلطح تفلطحا رأسيا . والنورة برمتها ذات شكل مستدير (كما فى النفل الاحمر red clover) ، أو مفلطح وتحمل مجموعة من الأزهار ، كما فى العائلة المركبة ، وفى انواع هذه العائلة كما فى عباد الشمس والكريزانثيم ، مثلا تتزاحم الازهار المفردة بكثرة بحيث صار من المألوف الظن بأن الهامة تتكون من زهرة واحدة .

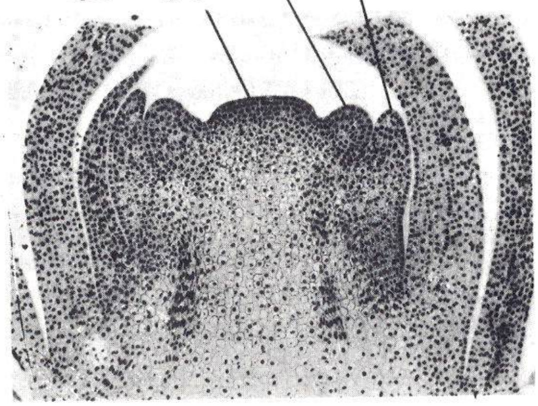


شكل (12ـ18) انواع شائعة من النورات
أـ العنقودية raceme
ب ـ السنبلية spike
جـ الخيمية umbel
د ـ الهامية (الرئيسية) head

تطور الزهرة Development Of The Flower

تتكون الزهرة كما فى الغصن الخضرى من محور عليه زوائد جانبية وتكون هذه الزوائد للاعضاء الزهرية . وينتهى المحور بالقمة الزهرية التى يختلف نظامها من وجوه عديدة عن النظام الموجود فى الغصن الورقى ، ومع ذلك لا يوجد من هذه الفروق

شكل (12ـ19) قطاع وسطى طولى فى برعم زهرى لنبات الزنبق tulip (Tulipa gesneriana) لم يبدأ ظهور الكربلات بعد .



ما يمكن اعتباره بحق فرقا اساسيا ، وهذه الفروق لها صلة كبيرة بالنمو المحدود للمحور الزهرى اذا قورن بالقمة الخضرية وامكانية نموها غير المحدودة .

وقد تتحول قمة الساق بعد أن تنتج أوراقا فتصبح قمة زهرية أو وهو الاكثر شيوعا قد تنشأ الزهرة فى الأصل من بداية زهرية تتمايز منذ بدايتها إلى قمع وقمة زهرية وتتفلطح القمة وفى بعض الأنواع تتخذ شكل قبة ، ومن هذه القبة تبرز الاعضاء الزهرية . وتبدو هذه الاعضاء منذ البداية كنتوءات يتتابع ظهورها على المحور الزهرى (12 ـ 19) . وعادة ما تتمايز هذه النتوءات تباعا من الخارج فى اتجاه المركز إلى اوراق كأسية وتويجية وأسدية وكرابل . ويزداد حجم هذه النتوءات أو البدايات وذلك بنمو أطرافها وحوافها بطريقة تشبه تلك التى تنمو بها الأوراق . وفى نفس الوقت التى تبرز فيه الأجزاء الزهرية يتضاءل حجم القمة شيئا فشيئا بعد أن كانت عريضة ثم ينحصر النشاط المريستيمى فى البدايات النامية . وتتزاحم العقد بشدة على المحور الزهرى (التخت) كما يتوقف نمو السلاميات بدرجة كبيرة أو قد يتوقف تماما . ويكتمل بدرجة كبيرة نمو معظم أجزاء الزهرة عند تفتحها ، إلا أن بعض الأجزاء وبخاصة الكرابل تواصل نموها بعض الوقت فى حين يتمايز المبيض إلى ثمرة .

التطور الزهرى : Floral Evolution

وكما أشير فى الفقرة السابقة يمكن اعتبار الزهرة فرعا ذا نمو محدود يمكن مقارنته بفرع يحمل اوراقا . وقد ينظر إلى الأوراق الكأسية على انها أوراق متحورة ، اى انها نشأت فى الأصل من تراكيب كانت وظيفتها الأساسية هى القيام بعملية البناء الضوئى . وفى بعض الأنواع البنائية تعتبر الأوراق التويجية ايضا أوراق متحورة . ومن المحتمل أن الأوراق التويجية فى معظم كاسيات البذور قد اشتقت من الاسدية بعد أن أصبحت عقيمة وبعد أن اتسعت وصارت تشبه الأوراق . ويظن أن أقدم الأزهار كان خاليا من الغلاف الزهرى ، ثم نشأ الغلاف الزهرى تدريجيا بتجمع قنابات على شكل أوراق تحت الأعضاء الخصبة . أما أصل السداة والكربلة فقضية معقدة . فهذه الأعضاء التكاثرية تتشابه فعلا مع الأوراق فى عديد من الصفات ، فهى تتشابه معها فى الموضع ، وفى الترتيب ، وفى التركيب الداخلى وكذلك فى عملية التمايز . وعلى أساس المبدأ السابق فى أن السداة والكربلة يمثل كل منهما ورقة متحورة ، فقد أطلق عليهما معا أسم الورقة السبورية sporophyll (والمعنى اللفظى هو "ورقة سبورية" "Spore leaf") ، لأن تراكيب معينة ضرورية لتكوين البذور ، وتعرف بالسبورات spores ، توجد داخل كل من البويضة والمتك . ويطلق على السداة اسم الورقة السبورية الصغيرة (السبور الصغير) microsporophyll ، كما يطلق على الكربلة ، الورقة السبورية الكبيرة (السبور الكبير) megasporophyll . وعلى ذلك يمكن تعريف الزهرة بانها مجموعة من الأوراق السبورية يصحبها عادة غلاف زهرى .

وبالرغم من الحفاظ على المصطلحات السابقة ، بالاضافة إلى شيوع استعمالها ، إلا أن الأفضل عدم اعتبار السداة والكربلة أوراقا قد تحورت ، بل هى أوراق قد تماثلت ، أى أنها ذات أصل واحد . وعلى ذلك فإن كلا من الأوراق والأعضاء الزهرية الخصبة قد نشأت من أصل واحد ثم سلكت أثناء تطورها طرقا متماثلة حدث خلالها عدة تحولات بها . وعليه فان كربلة المدقة البسيطة يمكن تصورها على أنها عضو متحور يشبه الورقة انثنى للداخل على امتداد العرق الوسطى ، واحاط بالبويضات (شكل 12 ـ 3) . ثم تحورت قمته حتى صارت ميسما لاستقبال حبوب اللقاح .

وفى الحقيقة فإن قضية الأصل التطورى للزهرة تعتبر من القضايا التى لم تحل بعد . ومع ذلك فيوجد من الأدلة القوية ما يشير إلى أن أزهار عدد معين من مجاميع كاسيات البذور ، مثل الماجنوليا ، وزنابق الماء ، وشقائق النعمان ، قد احتفظت بكثير من تراكيب الزهرة البدائية . وتعتبر هذه المجاميع وغيرها ، آخر ما تبقى من أسلاف الأشكال القديمة ، وانه بالرغم مما يبد وعليها الآن من تحورات كثيرة ، فإنها تعتبر دليلا واضحا على طبيعة أسلاف كاسيات البذور . فهى تمثل ولو جزئيا على الأقل الطراز الأصلى الذى نشأت منه المجاميع الأخرى ، وذلك نتيجة لعدة تطورات حدثت أثناء العمليات التطورية . وبعض عوائل النباتات الزهرية تتميز بتحورات يسهل على الانسان العادى التعرف عليها . ومن أمثلة هذه العوائل نبات الورد rose ، وعائلة نبات القرنفل pink وعائلة نبات الخردل mustard ، وعائلة نبات الخشخاش poppy ،

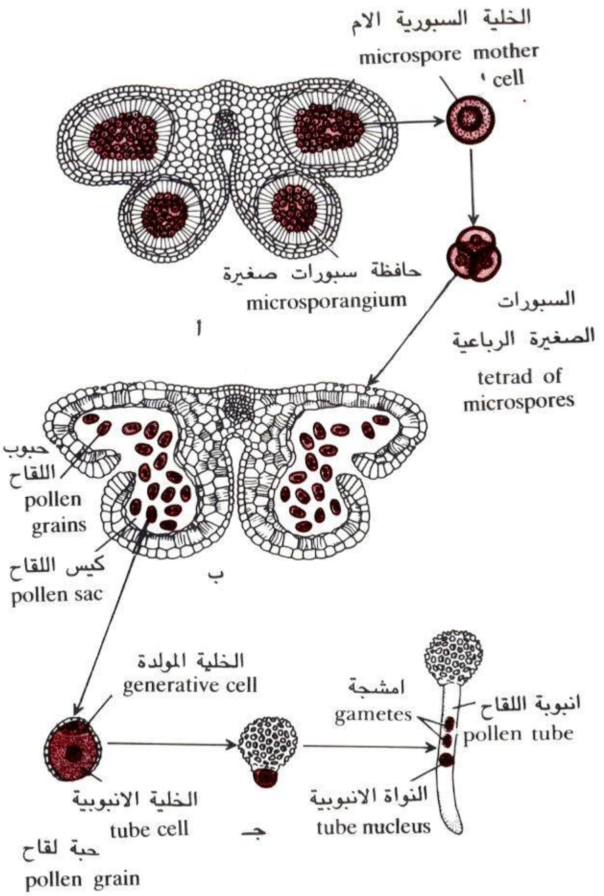
وعائلة النباتات البقولية legume ، وعائلة نبات الجزر carrot ، وعائلة نبات القرع gourd وعائلة نبات البطاطس potato وعائلة نبات الخلنجان heath ، وعائلة نبات الاستر aster وعائلة نباتات الزنابق lilies وعائلة نباتات الاركيد orchids وكذلك غيرها .

تكون البذرة: Development of the Seed

تعتبر البذرة فى حد ذاتها تركيبا معقدا، فهى تتركب من نبات جنينى وغطاء بذرة وغذاء مختزن . ويختزن الغذاء فى بذور كثير من النباتات داخل الجنين نفسه، اما فى البذور الاخرى فيختزن فى الانسجة المحيطة بالجنين، ولاتكتمل قصة البذور الا ببيان مفصل عن التغيرات التى تحدث فى كل من السداة والمدقة، وعن عملية التلقيح وعن منشأ الجنين، وعن عملية تكون غطاء البذرة، وكذلك عن منشأ المواد المختزنة ومدى استفادة النبات الصغير منه اثناء عملية انبات البذور.

وتشترك الاجزاء الاساسية فى الزهرة وهى المدقات والاسدية بطريقة مباشرة فى عملية تكوين البذرة والاجزاء الاقل اهمية وهى غالبا اوضح اجزاء الزهرة قد تساهم ايضا بطرق عدة.

المتك واللقاح: Anther and Pollen يتبين من الفحص الدقيق لمتك صغير (شكل 12 ـ 20) انه عبارة عن اربعة فصوص ويتكون من اربعة اكياس سبورية microsporangia وهى مجرد غرف ليس لها جدران خاصة بها، حيث توجد داخل النسيج العقيم للمتك وعلى كل جانب من جانبى النسيج الموصل الذى تعبره حزمة وعائية واحدة تقع اثنتان من هذه الاكياس السبورية، ويبين القطاع العرضى فى متك برعم زهرى صغير للغاية، انه يوجد داخل كل كيس سبورى صغير تجمعات من الخلايا الكبيرة بها سيتوبلازم وفير وانوية كبيرة وتسمى هذه الخلايا باسم الخلايا الامية السبورية الصغيرة microspore mother cells، وتمتد فى كتل مستطيلة خلال المتك وعادة ماتتزاحم هذه الخلايا بكثرة وذلك عند بداية تكوينها الا انها تنفصل بعد ذلك وتصبح كروية.



شكل (12ـ20) المتك وحبة اللقاح تنقسم كل خلية امية للسبور الصغير فى الحافظة السبورية الصغيرة مكونة تجمعا من اربع سبورات صغيرة (جرثومات صغيرة) تنفصل سراعا بعد ذلك وتنقسم نواة كل سبور بعد ذلك مكونة خلية انبوبية وخلية مولدة ضمن جدار السبور ومن ثم تتحول الى حبة لقاح . وبعد التلقيح تنبت حبة اللقاح مكونة انبوبة اللقاح ، كما تنتج خلية التوليد اثنين من الامشاج المذكرة .

واذا ماستمر المتك فى النمو فان نواة كل خلية من الخلايا الامية السبورية الصغيرة تنقسم، ثم تنقسم الانوية الوليدة الناتجة مرة ثانية . ويلزم التنويه بان هذه الانقسامات ماهى الا الانقسامات الهامة الخاصة بالانقسام الاختزالى والتى سنشرحها فيما بعد وسنوضحها ايضا بالتفصيل فى الفصل السادس عشر، وبتكوين الجذر الخلوية تنشأ مجموعة من اربع خلايا تعرف باسم السبورات الصغيرة microspores



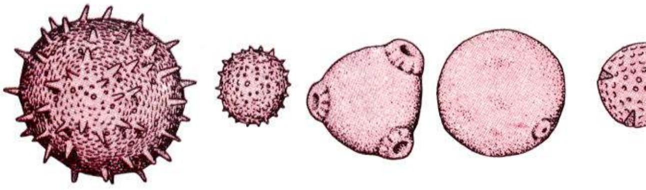
شكل (12ـ21) صورة بالمجهر الالكترونى لحبة لقاح تكونت حديثا فى نبات الليلك الدمى blood lily (Haemantus katherinae)

(tc) النواة الانبوبية . (gc) نواة الخلية المولدة (gcw) جدار الخلية المولدة . (v) الفجوة (تكبير (3500) .

ومثل هذه المجموعة من السبورات الاربع تعرف باسم الرباعية tetrad(شكل 12 ـ 20) وفى بعض النباتات مثل نبات البردى (Typha Iatyfolia) وانواع عائلة نبات الخلنجان تحتفظ السبورات الصغيرة بترتيبها الرباعى الا انها عادة ماتنفصل عن بعضها وتوجد فى حالة سائبة داخل الكيس السبورى الصغير، كما تحاط بسائل مغذ، ثم تتمايز السبورات الصغيرة بعد ذلك لتكون حبوب اللقاح.

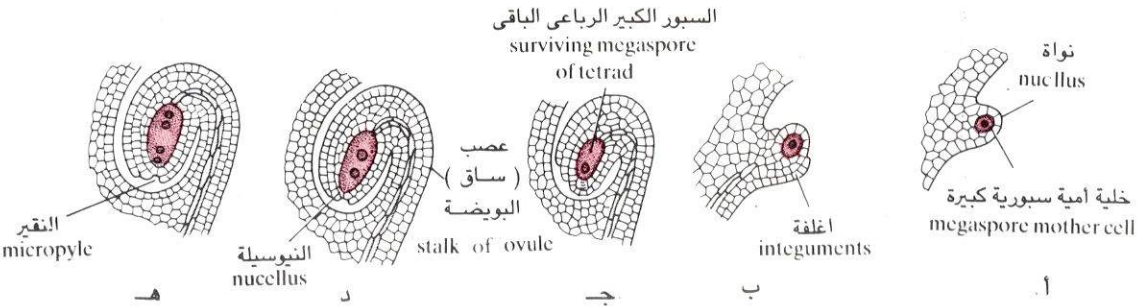
وبعملية الانقسام الفتيلى (غير المباشر) لنواة السبور الصغير يتحول هذا السبور الى حبة لقاح فتتباعد النويات البنوية ، كما يتباعد مايحيط بها من سيتوبلازم ، وتكون خليتين متجاورتين يفصلهما جدار رقيق ويطلق على احدى هاتين الخليتين اسم الخلية الانبوبية tube cell، كما يطلق على الخلية الاخرى اسم الخلية المولدة generative cell، والخلية الاولى اكبر من الخلية الثانية. (شكل 12 ـ 20 ، 12 ـ 21) وفى عدد من الانواع وقبل انتشار حبوب اللقاح تنقسم الخلية المولدة مرة اخرى لتكون مشيجين مذكرين وعلى ذلك فانه يوجد فى النباتات الزهرية نوعان من حبوب اللقاح، الاول لايحوى عند انتشاره غير الانبوبة والنواة المولدة والاخر يحتوى على نواة الانبوبة ونواتين ذكريتين.

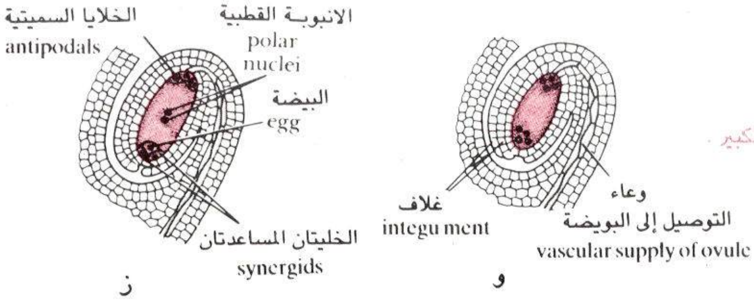
ويصبح جدار السبور الصغير جدارا لحبة اللقاح ويتغلظ هذا الجدار ويغطى سطحه الخارجي باشواك او صفائح او نتوءات او علامات ظاهرة تتميز بها حبوب اللقاح للانواع المختلفة (شكل 12 ـ 21 ، 12 ـ 22) وعند هذه المرحلة من التطور يتحلل عادة الجدار الذى يفصل بين الكيسين السبوريين الصغيرين على كل جانب من جانبى المتك ويؤدى ذلك الى تكوين كيسين لقاحيين pollen sacs يمتلىء كل منهما بكتلة من حبوب اللقاح على شكل مسحوق (شكل 12 ـ 20) وعندما تنضج الزهرة ينشق كل كيس لقاحى على امتداد



شكل (12 ـ 22) حبات اللقاح

أ ـ لنبات المران ash (Fraxinus americana)
ب ـ لنبات حشيشة الدينار orchard grass (Dactylis glomerata)
جـ ـ لنبات الفوشيسيا fuchsia (Fuchsia hybrida)
د ـ لنبات حشيشة الخرقة ragweed (Ambrosia artimisifolia)
هـ ـ لنبات الخباز mallow (Malviscus arboreum)





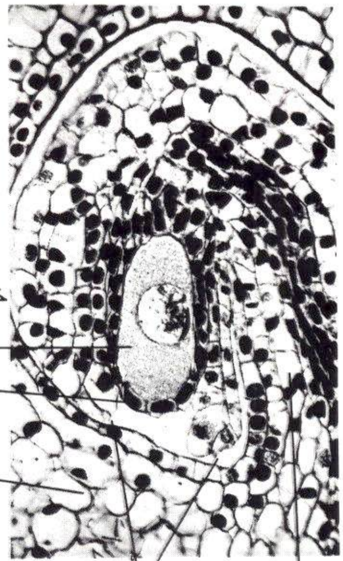
شكل (12 ـ 23)

(أ ـ جـ)
تطور الخلية الامية السبورية الكبيرة والسبور الكبير
(د ـ و)
مراحل تطور الكيس الجنيني
(ز)
بويضة ناضجة

المتك ويفتح وتتحرر حبوب اللقاح، واذا بلغت حبوب اللقاح ميسم نفس الزهرة او زهرة اخرى من نفس النوع فانها تنبت بتكوين انبوبة لقاح تنمو الى اسفل وتخترق القلم.

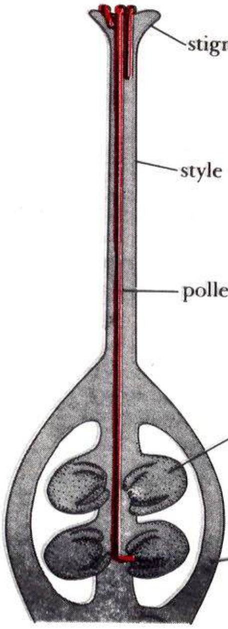
البويضة والبيضة: The Ovule and the Egg

تطابق الخطوات التى تتم داخل البويضة نظائرها التى ينشأ عنها تكوين الامشاج المذكرة وتؤدى هذه الخطوات الى انتاج المشيج المؤنث او البيضة وتنشأ البويضات وهى طلائع للبذور من المناطق المشيمية لجدار المبيض ويظهر كل مبيض فى البداية على شكل نتوٴ دقيق على جدار المبيض (شكل 12 ـ 23) ويتركب هذا الانتفاخ من غطاء من نسيج سمكه خلية واحدة او عدة خلايا تسمى النيوسيله nucellus وهو يغلف بصفة نمطية خلية امية سبورية كبيرة megaspore mother cell ذات حجم كبير (شكل 12 ـ 24). ويوجد هذا التركيب بدوره داخل حافظة السبورات الكبيرة megasporangium وفى النباتات البذرية خلاف كاسيات البذور يحاط الكيس السبورى الكبير بجدار اما فى كاسيات البذور فتعتبر النيوسيلة عادة هى جدار الكيس السبورى الكبير ومع ذلك فالرأى الاكثر احتمالا هو ان النيوسيلة نسيج وقائى يتبع الابوين ويمكن مقارنته بانسجة المتك التى تحيط بالانسجة المكونة للسبورات، وان جدار الكيس السبورى الكبير غير موجود، وفى هذه الحالة يعتبر الكيس السبورى



شكل (12 ـ 24)

صورة مجهرية لقطاع طولى فى بويضة فتية لنبات الزنبق المخطط tiger lily (Lilium tigerinum) مرحلة الخلية الامية السبورية الكبيرة . لم يكتمل بعد نمو الاغلفة .



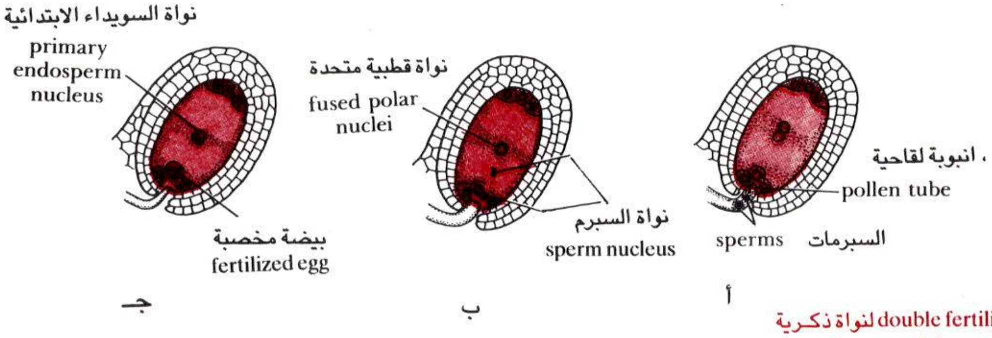
شكل (12 ـ 25)

انبات حبات اللقاح على الميسم ونمو انبوبة اللقاح حتى تصل إلى البويضة

الكبير مجرد غرفة تغلفها النيوسيلة وفى داخل هذه الغرفة تتم الخطوات الاولى لتكوين البذرة.

وسرعان ماترتفع النيوسيلة على عنق قصير، نتيجة لنمو قاعدتها، واذا مااستمر هذا التمايز برزت من قاعدة النيوسيلة طبقة واحدة او اثنتان للاحاطة بها وحمايتها تعرف بالاغلفة integuments وتلتف هذه الاغلفة فى النهاية حول النيوسيلة، الا فى فتحة صغيرة يقال لها النقير micropyle (شكل 12 ـ 23 ب ـ هـ، 12 ـ 24) وقد يكون وضع المبيض قائما، الا انه فى معظم النباتات الزهرية يكون وضع المبيض مقلوبا، وفيه يتجه النقير ناحية المنطقة المشيمية ويلتحم عنقه كليا او جزئيا بغلافه . وسرعان ماتنقسم الخلية الامية السبورية الكبيرة وينشأ عن ذلك اربع سبورات كبيرة ويختلف ترتيب السبورات الكبيرة عن ترتيب رباعية السبورات الصغيرة فالسبورات الكبيرة ترتب فى صف واحد وفضلا عن ذلك لايبقى من السبورات الكبيرة غير واحدة وهى عادة ابعدها عن النقير واقربها الى الغذاء المختزن، بينما تتحلل الثلاث الاخرى (شكل 12 ـ 23 جـ).

الكيس الجنينى: The Embryo Sac ينشأ عن السبور الكبير المنفرد وهو الذى تخلف وبقى من هذه السبورات، جسم بيضاوى او مستطيل يعرف بالكيس الجنينى embryo ويسمى بهذا الاسم لان الجنين يتكون داخله واثناء تمايز الكيس الجنينى تنقسم نواة السبور الكبير ثلاثة انقسامات غير مباشرة لتكون ثمانى انوية تتشابه وراثيا (شكل 12 ـ 23د، و)ويتم امتصاص الغذاء والماء عبر عنق البويضة، فيتسع الكيس ويتبعه اتساع كل من النيوسيلة والغلاف وتحتل اربع انوية منها الطرف النقيرى للكيس والاربع الاخرى الطرف المقابل ثم تتحرك نواة واحدة يطلق عليها



شكل (12 ـ 26)

الاخصاب المزدوج double fertilization لنواة ذكرية تلتحم بنواة البيضة بينما تتحد الأخيرة مع النويات القطبية .

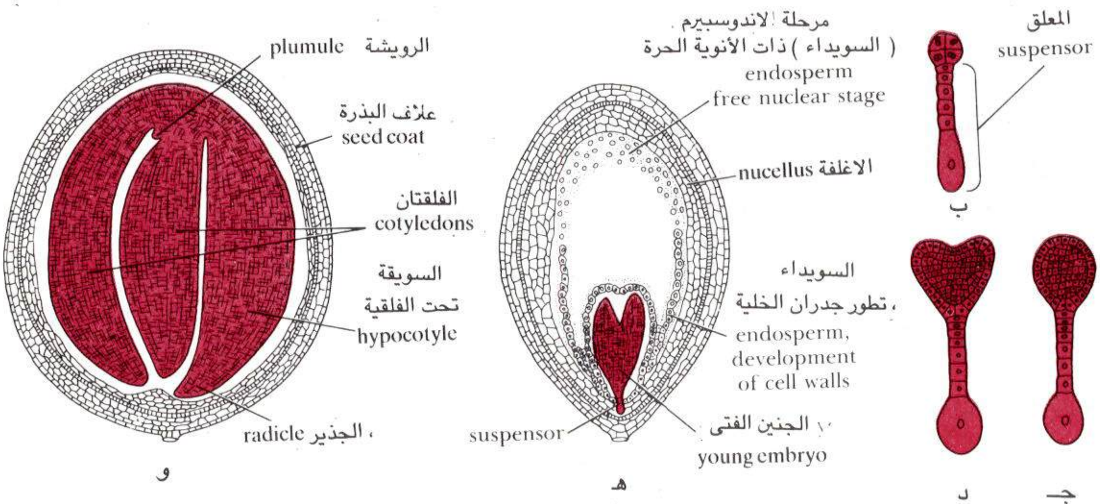
النواة القطبية polar nucleus، من كل مجموعة من الاربع انوية وتحتل وضعا مركزيا بينما تحاط كل نواة من الانوية الست الباقية بغشاء رقيق.

وتسمى الخلايا الثلاث التى تقع فى الطرف النقيرى باسم خلية البيضة egg cell، بينما تسمى الخليتان المجاورتان لها واللتان تحيطان بها بصفة جزئية الخليتين المساعدتين synergids ويطلق على الخلايا الثلاث اللاتى تقع فى الطرف المقابل اسم الخلايا السمتية antipodals، وفى بعض النباتات تواصل الخلايا السمتية انقسامها ففى الذرة (Zea mays)، مثلا قد يصل عدد الانوية الى 20 نواة، وكل من الخلايا المساعدة والخلايا السمتية قصيرة الاجل ويظن انها بقايا منقرضة من اسلاف النباتات الزهرية ولايعرف على وجه التحقيق وظائف هذه الخلايا فى كاسيات البذور الحديثة ولكن يبدو ان الخلايا المساعدة على الاقل لها دور نشط فى عمليات التحول الغذائى التى تسبق عملية الاخصاب، كما انها غنية بالمواد الغذائية المختزنة ومن الاراء المقترحة لوظيفة الخلايا المساعدة انها تقوم بوظيفتى الامتصاص وتوصيل الغذاء من الخلايا الامية المحيطة بها الى البيضة، ويحتوى الكيس الجنينى عادة عند تمام تمايزه على سبع خلايا وثمانى انوية . اما البويضة الناضجة فتتكون بالاضافة الى ماسبق من النيوسيلة والاغلفة والعنق وتحيط جميعها بالكيس الجنينى (شكل 12 ـ 23 و).

انبات حبوب اللقاح، الانبوبة اللقاحية Pollen Germination; The Pollen Tube

تنبت حبة اللقاح على الميسم (شكل 12 ـ 15 ، 12 ـ 25) وتنمو الانبوبة اللقاحية الى اسفل خلال القلم الى ان تصل الى البويضة فاذا لم تكن الخلية المولدة قد انقسمت لتكوين المشيجين المذكرين فانها تنقسم فى الانبوبة اللقاحية . وتتحرك الامشاج(ويتركب كل منها من نواة يحيط بها غلاف سيتوبلازمى) الى اسفل فى الانبوبة اللقاحية ويخترق طرف الانبوبة غشاء النيوسيلة ويدخل الكيس الجنينى حيث يتم تفريغ الامشاج المذكرة (12 ـ 26) . وقد تسبق نواة الانبوبة الامشاج فى تحركها داخل الانبوبة، وكان يظن فى الماضى انها توجه نشاط الانبوبة اللقاحية اثناء نموها، الا انه وجد ان نواة الانبوبة قد تتبع الامشاج داخل الانبوبة اللقاحية وفضلا عن ذلك فقد عرفت حالات عديدة فيها تتحلل نواة الانبوبة سواء قبل انبات حبة اللقاح او فى المراحل الاولى من نمو انبوبة اللقاح، وعلى ذلك فالرأى عند كثير من الباحثين ان نواة الانبوبة ماهى الا بقايا تركيب اثرى ليس لها اى دور فى نمو الانبوبة اللقاحية.

الاخصاب : Fertilization للامشاج المذكرة فى معظم الكائنات الحية القدرة على الحركة وذلك بتراكيب خاصة تشبه الاسواط . ومثل هذه التراكيب لا وجود لها فى الامشاج



شكل (12 ـ 27).

مراحل تطور جنين الكرنب cabbage (Brassica oleracea var.capitata)

رسم تخطيطي من أ ـ د تمايز الجنين والمعلق suspensor في الجنين الأولى .

هـ ـ بذرة فتية مع جنينها وسويدائها (اندوسبرم) النامية .

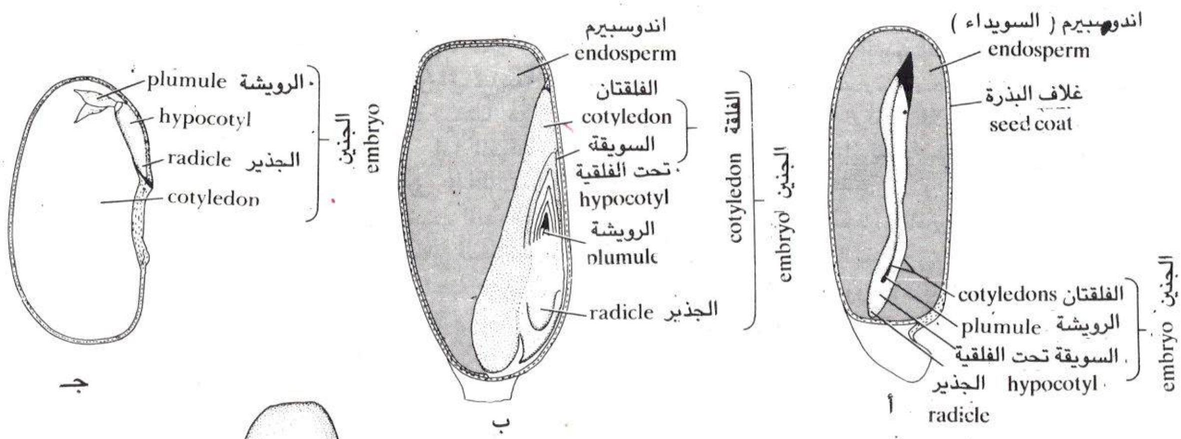
و ـ بذرة ناضجة وتتكون إساسا من الجنين وكساء البذرة (غلاف البذرة)

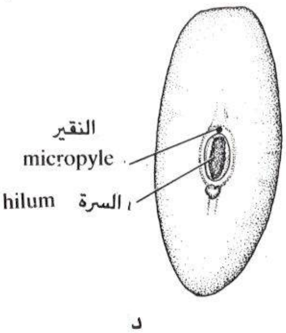
المذكرة للنباتات كاسيات البذور حيث انه يبدو انها تفتقر الى قدرتها على حرية الحركة . ولا يعرف حتى الآن كيف تتحرك الامشاج المذكرة الى اسفل في الانبوبة اللقاحية ومن الاراء المقترحة الحركة الانسيابية للسيتوبلازم ، كما اقترح ايضا تغيرات في الضغط الانتفاخي لانبوبة اللقاح .

وفي الكيس الجنيني يندمج احد المشيجين المذكرين بنواة البيضة ويلقحها ، وبذلك تتكون اول خلية من خلايا النبات الجديد (شكل 12 ـ 26) . وفي نفس الوقت تقريبا يحدث اندماج ثان بين النواتين القطبيتين وبين المشيج المذكر الثاني . فقد تندمج النواتان القطبيتان اولا وبعدها يتم الاتحاد بنواة المشيج المذكر او قد تندمج الانوية الثلاث معا في وقت واحد . ويطلق على النواة الناتجة من اندماج هذه الانوية الثلاث اسم نواة الاندوسبرم الابتدائية primary edosperm nucleus ، أو نواة الاندماج الثلاثي triple fusion nucleus .

واتحاد أنوية البيضة بالمشيج المذكر ، وكذلك اندماج المشيج المذكر الثاني بالانوية القطبية يطلق عليها معا اسم الاخصاب المزدوج double fertilization . وفي السنين الاخيرة من القرن التاسع عشر وفي آن واحد تقريبا تم اكتشاف الاخصاب المزدوج لعالمين من علماء النبات احدهما روسي والآخر فرنسي . ومنذ ذلك الوقت وهذه الظاهرة التي لا توجد الا في كاسيات البذور تدرس دراسة شاملة في محاولة لتفهم تاريخها التطوري ومغزاها في تكوين البذرة . ولابد من حدوث عملية الاخصاب المزدوج داخل كل بويضة لكي يتم بعد هذه العملية تكوين البذرة ولابد ان تنبت حبة لقاح واحدة على الاقل على الميسم لكل بويضة لكي تكون بذرة ، ومعنى ذلك ان زهرة واحدة من نبات الرقي (الدلاع) Water melon مثلا تحتاج الى مئات من حبوب اللقاح .

والفترة التي تمضي بين انبات حبة اللقاح وعملية الاخصاب هي في العادة قصيرة الا انها قد تبلغ عدة ايام او





شكل (12 ـ 28) البذور
أ ـ قطاع طولى فى بذرة الخروع
castor bean (Ricinus communis)
الرويشة صغيرة الحجم

ب ـ قطاع طولى فى بذرة الذرة (Zea mays) corn
جـ ـ بذرة الفاصوليا (Phaseolus vulgaris) bean
ازيلت احدى الفلقتين .
د ـ بذرة الفاصوليا تبين النقير والسرة .

اسابيع او حتى شهور . ففى الشعير تبلغ هذه الفترة اقل من ساعة واحدة وفى الذرة حوالى 24 ساعة وفى الطماطم 50 ساعة تقريبا وفى الكرنب حوالى 5 ايام ، اما نبات بندق الساحرة (Hamamalis virginiana) ، وهو من الشجيرات الواسعة الانتشار فى شرقى الولايات المتحدة ، فانه يكون ازهارا فى وقت متأخر جدا من فصل الخريف وفى هذا الوقت تتم عمليتا التلقيح وتكوين الانبوبة اللقاحية ، اما عملية الاخصاب فتتأخر الى ان يحل فصل الربيع اى بعد فترة تتراوح بين خمسة شهور وسبعة اشهر .

الكيس الجنينى والبذرة : The Embryo Sac and the Seed

عند حلول وقت عملية الاخصاب ، أو بعد ذلك بقليل تتحلل النيوسيلة ، كما ان عقب الاخصاب تتحلل ايضا كل من الخلايا المساعدة والخلايا السيتية . وتنمو البيضة المخصبة الى جنين والاطوار التى تتم اثناء تطور كل من الجنين والبذرة فى نبات الكرنب (شكل 12 ـ 27) تعتبر من الاطوار المثالية لكثير من نباتات ذوات الفلقتين ، فالزيجوت بعد انقسامه عدة انقسامات يكون صفا من الخلايا هى الجنين الاولى proembryo ، الذى يبرز داخل الكيس الجنينى . واعلى خلية فى هذا الصف وهى ابعد الخلايا عن النقير تنقسم بجذر مستعرضة وطولية لتكون مجموعة من ثمانى خلايا ترتب فى طبقتين كل منهما بها اربع خلايا . وهذه المجموعة من الخلايا هى التى ينشأ منها معظم الجنين ، اما بقية الخلايا التى تقع تحتها فانها تكون المعلق suspensor . ونمو المعلق يدفع الجنين النامى فى الاندوسبرم endosperm ، حيث يتوفر الغذاء المختزن . ويبقى المعلق مدة الا انه يتحلل فى النهاية (شكل 12 ـ 27 أ ، هـ) .

ويتكون الجنين الناضج (شكل 12 ـ 27 و) من محور يحمل فلقتين cotyledons أو اوراق بذرية . وعند قمة المحور فوق العقدة الفلقية توجد الرويشة plumule ، وتعتبر الرويشة قمة الساق الجنينية . وفى نبات الكرنب وبعض النباتات الاخرى لا تحتوى الرويشة الا على مجموعة صغيرة

من الخلايا المرستيمية اما فى النباتات الاخرى ، كما فى البقولات beans فان الرويشة تتركب من عدة اوراق جنينية بالاضافة الى المريستيم القمى . وعند الانبات ينشأ من الرويشة جزء الساق الذى يقع فوق الفلقات . اما النهاية القاعدية المستدقة للجنين فيطلق عليها الجذير radicle ، الذى يتمايز وينمو الى الجذر الابتدائى اذا ما نبتت البذرة . وتسمى المنطقة التى بين الرويشة والفلقات بالساق الجنينية او السويقة تحت الفلقية hypocotyl . وفى اجنة بعض البذور مثل نبات الذرة تكون السويقة تحت الفلقية قصيرة جدا .

ونشأة جنين نباتات ذوات الفلقة الواحدة تعتبر بوجه عام نسخا طبق الاصل لما يحدث فى جنين الكرنب فيما عدا تكوين فلقة واحدة بدلا من فلقتين . الا انه قد وجدت فى نباتات ذوات الفلقة الواحدة الراقية مثل النجيليات grasses ، تحورات تطورية بالغة الاهمية وتشمل هذه التحورات جزئين رئيسيين هما : (1) القصعة scutellum وهى عضو وظيفته امتصاص الغذاء . (2) الغلاف الورقى (غمد الرويشة) coleoptile وهو بمثابة قلنسوة تغلف الرويشة لحمياتها (شكل 12 ـ 28 ب) .

وعقب الاخصاب مباشرة تبدأ نواة الاندوسبرم الابتدائى فى الانقسام وينشأ عنها فى النهاية نسيج مكون من عدة خلايا هو نسيج الاندوسبرم . وتنمو البيضة الخصبة لتكون الجنين . الا ان نموها يتم بعد نمو الاندوسبرم لأن الزيجوت عقب عملية الاخصاب يدخل عادة فى فترة سكون . وقد لا تستمر هذه الفترة اكثر من بضع ساعات ، الا انها قد تبلغ فى كثير من الانواع عدة ايام ، ويتم نمو الاندوسبرم بالغذاء الذى يصله من النبات الام ، وهو بدوره يغذى الجنين . وفى كثير من الانواع وفى الاطوار الاولى من تكوين الاندوسبرم يتكون عديد من الانوية الطليقة (شكل 12 ـ 27 هـ) . ثم تتكون بعد ذلك جذر حول معظم هذه الانوية . وفى الانواع الاخرى يتم تكوين الجذر الخلوية بسرعة عقب الانقسام النووى وينمو الاندوسبرم اسرع من الجنين وتكبر البذرة الصغيرة بسرعة نتيجة لامدادها بالغذاء الوفير ، وفى بعض البذور يظل الجنين صغيرا نسبيا ويحاط بالاندوسبرم . اما الاندوسبرم فانه يستمر فى النمو ويكبر ويصبح هو النسيج البارز فى البذرة الفتية بالغذاء المختزن الذى على هيئة مواد دهنية او نشوية او بروتينية . ويستغل الجنين الغذاء المختزن فى الاندوسبرم اثناء انبات البذرة . والبذور التى يوجد بها الجنين مطمورا فى الاندوسبرم تشمل بذور الخروع (شكل 12 ـ 28 أ) والذرة (شكل 12 ـ 28 ب) ، وغيرها من نباتات الحبوب والحنطة السوداء buckwheat ، وبذور البلح ، وجوز الهند وفى البذرة الحجرية لنبات البلح ، تتغلظ بدرجة كبيرة الجذر الابتدائية للاندوسبرم الذى يتكون معظمه من مادة شبه سليولوزية hemicellulose ، وهذه المادة هى التى تختزن فى البذرة . واثناء الانبات تتحول هذه المادة الى مواد سكرية بفعل الانزيمات . والمادة الحليبية الموجودة فى ثمار جوز الهند هى طور من اطوار تمايز الاندوسبرم الذى فيه تتحرر الانوية ويبلغ حجم هذه المادة حوالى 1½ لتر من السائل تحتوى على عدد كبير من الانوية وعند نضج البذرة تنتقل هذه الانوية الى الخارج وتتكون جذر حولها لتكون الاندوسبرم الناضج او «اللحم» meat .

وفى البذور الاخرى وربما فى اغلبها يستمر الجنين فى نموه حتى يتم امتصاص الاندوسبرم . فيزيد حجم الجنين وتمتلىء خلاياه بالغذاء المختزن فى الفلقات التى تكبر بدرجة كبيرة . ومن امثلة البذور التى تفتقر الى الاندوسبرم بذور الفجل ، والكرنب ، وعباد الشمس ، والقرع ، وثمرة او جوزة البلوط acorns ، والجوز ، وبذور النباتات البقولية ، مثل البازلاء ، والفاصوليا (شكل 12 ـ 28 جـ ، د) .

وتحاط البذرة بغطاء البذرة seed coat ، الذى ينشأ من غلاف البويضة . وغطاء البذرة عادة رقيق كما فى الفاصوليا الخضراء ، وفى الفول السودانى peanut حيث يكون طبقة بنية ورقية حول الجنين . الا انه قد يتغلظ ويتصلب او يكون حجريا كما فى البندق البرازيلى ، وفى نبات القطن يخرج من خلايا البشرة لغطاء البذرة الياف القطن الذى تغزل الى خيوط .

وفى كثير من البذور يظل النقير واضحا كثقب دقيق يصحبه عادة ندبة تسمى السرة hilum (شكل 12 ـ 28 جـ) التى تبين مكان العنق الذى يصل البذرة بالمشيمة . واثناء عملية نضج البذرة يمر الجنين تدريجيا بحالة من السبات ويظل كذلك حتى ينبت .

وتعتبر بذرة نباتات كاسيات البذور من التراكيب المعقدة ، كما ان انسجتها تختلف فى اصلها فقد تحتوى على غطاء بذرة واندوسبرم وجنين كما فى الذرة والقمح والرز او قد تحتوى على غطاء بذرة وجنين فقط ، كما فى البازلاء والفول السودانى وفول الصويا .

وبالاضافة الى اهمية البذور فى عملية تكاثر النباتات فهى ذات نفع عظيم للانسان . وربما تعتبر زراعة النباتات لانتاج

البذور للاكل اهم ما يقوم به الانسان من نشاط . فبذور مثل القمح والذرة والشليم ، والرز هى اساس الغذاء اليومى للانسان . وعلى حد سواء فى الاهمية تعتبر البذور غذاء لكثير من الحيوانات الاخرى ، فهى الطعام الاساسى لعديد من الطيور وكثير من القوارض . وعلى ذلك فامداد السواد الاعظم من حيوانات اليابسة ، وتشمل الانسان بالغذاء يعتمد كليا او جزئيا على عملية التلقيح كما يعتمد ايضا على السلوك المعقد التى تتبعه الانوية والخلايا داخل كل من المتك والبويضة .

تبادل الاجيال : Alternation of Generations

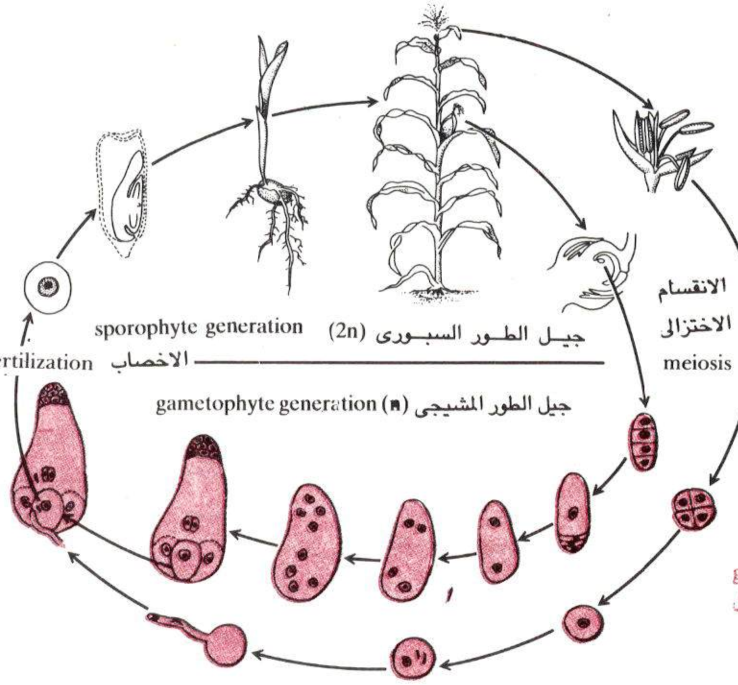
فى دورة حياة اى كائن حى يتكاثر تكاثرا تزاوجيا ، يوجد طوران او جيلان ، يطلق على احدهما الطور السبورى Sporophyte ويحمل سبورات . اما الجيل الآخر فانه يحمل الامشاج ويعرف باسم الجيل المشيجى gametophyte . وتستعمل كلمة الجيل هنا بمعنى آخر يختلف عن معناها العادى وتعنى الفترة الزمنية التى تنقضى بين مولد الوالدين وبين مولد الاخلاف Progeny .

وفى كل دورة من ادوار حياة النبات يتبادل هذان الطوران ، كما يتبادل فيها عدد الكروموسومات . وقد سبق ان عرفنا من دراسة الخلية (الفصل الثالث) ان عدد الكروموسومات فى كل خلية من خلايا بنية اى فرد ينتمى الى نوع معين هوحسب القاعدة ، عدد ثابت لايختلف من جيل الى آخر . فاذا ما اندمج مشيجان لتكوين الزيجوت ، فان كل مشيج منهما يساهم بمجموعة من الكروموسومات . وعلى ذلك ففى البيضة المخصبة يوجد ضعف عدد الكروموسومات الموجود فى كل مشيج وتنقسم نواة البيضة المخصبة انقساما فتيليا . وعلى ذلك فنصف عدد الكروموسومات الموجود فى كل خلية من الخلايا البنوية هو اصلا من المشيج المذكر والنصف الآخر من البيضة . وكل الخلايا التالية التى تنشأ من تكرار انقسام البيضة المخصبة تحتوى على هاتين المجموعتين من الكروموسومات .

وحيث ان عدد الكروموسومات يختلف باختلاف الانواع فانه من المناسب ان نرمز الى عدد الكروموسومات فى البيضة المخصبة ، ومن ثم الى هذا العدد فى خلايا جسم النبات الناتجة عن انقسام هذه البيضة ، بالرمز (2n) . وحيث ان عدد الكروموسومات فى كل مشيج ما هو الا نصف هذا العدد فانه يرمز الى عدد الكروموسومات فى كل مشيج بالرمز (n) . ومن ذلك يظهر بوضوح ان تضاعف doubling عدد الكروموسومات اذا ما الحقت البيضة ، يصحبه اختزال reduction فى عدد الكروموسومات فى طور متأخر من الطوار دورة الحياة . فاذا لم يحدث ذلك والحتوت الامشاج على نفس عدد الكروموسومات الموجود فى الخلايا الجسمية اى (2n) فان البيضة المخصبة وبالتالى خلايا النبات الناتج تحتوى على (4n) من الكروموسومات . ويحتوى الجيل التالى على (8n) وهذا يعجل باحتواء كل خلية على عدد كبير .

وكما اشير اليه من قبل يحدث اختزال عدد الكروموسومات فى النباتات الزهرية اثناء تكوين كل من السبورات الصغرى والسبورات الكبيرة من خلاياها الامية كل فيما يخصه . والانقسامان اللذان يطلق عليهما مجتمعين اسم الانقسام الاختزالى meiosis ، يؤديان الى تكوين سبورات رباعية وبكل سبور منها نصف عدد الكروموسومات . وفى الباب السادس عشر سنشرح بالتفصيل الانقسام الاختزالى حيث يتبين ان هذه العملية ذات اهمية ومغزى من عدة وجوه اخرى بالاضافة الى الاختزال فى عدد الكروموسومات .

وعلى ذلك فالخلايا الامية السبورية بها (2n) من الكروموسومات بينما يحتوى كل سبور سواء السبورات الصغيرة او السبورات الكبيرة على (n) من الكروموسومات . وكل التراكيب التى تتكون بطريقة مباشرة عن كل سبور من السبورات الصغيرة او السبورات الكبيرة بها (n) من الكروموسومات . وباندماج البيضة والمشيج المذكر يتضاعف ثانية عدد الكروموسومات ويصبح (2n) . وعلى ذلك فكل خلايا النبات اما ان تحتوى على (n) او (2n) من الكروموسومات ، فيما عدا خلايا الاندوسبرم ، التى تتكون عقب اندماج ثلاث انوية . وحيث ان كل نواة من هذه الانوية تحمل (n) من الكروموسومات ، فان الاندوسبرم يحمل (3n) من الكروموسومات . الا ان الجنين يستهلك الاندوسبرم فى نموه ، سواء ذلك قبل عملية الانبات او اثناءها وعلى ذلك لا يؤثر الا الاندوسبرم على عدد الكروموسومات التى توجد فى الاجزاء النباتية الاخرى .



شكل (12 ـ 29)

تعاقب الاجيال فى مغطاة البذور . (الذرة) يبين جيل الطور المشيجى gametophyte الالوان . لاحظ ان اكثر من ثلاث خلايا سمتية توجد فى الذرة وغيره من مغطاة البذور .

وتعتبر عمليتا الانقسام الاختزالى والاخصاب هما الحدود الفاصلة بين الجيلين . جيل النبات السبورى وجيل النبات المشيجى . فالجيل السبورى به (2n) من الكروموسومات ، اما الجيل المشيجى ففيه (n) من الكروموسومات . وعلى ذلك فاول خلايا الجيل السبورى هى البيضة المخصبة . وبتكوين نوعين من الخلايا الامية السبورية ينتهى الجيل السبورى . وبين البيضة المخصبة والخلايا الامية السبورية توجد بنية النبات مثل نبات القطن ، وبنية شجرة الدردار ، وهذه البنية هى اوضح وابرز اجزاء الجيل السبورى . فيبدأ الجيل المشيجى بالسبورات وينتهى بالامشاج . ويوجد فى النباتات الزهرية نوعان من النبات المشيجى هما النبات المذكر والنبات المؤنث ، وذلك لوجود نوعين من السبورات . ويلخص (الشكل : 12ـ29) تراكيب كل جيل من هذه الاجيال . وقد تم حذف الاندوسبرم من هذا الشكل ، حيث انه لا يحوى (n) ولا (2n) من الكروموسومات ، فلا يتبع اى جيل من الجيلين . وربما يعتبر الاندوسبرم من انسجة النبات المشيجى الا ان الاندماج النووى قد احاله الى نسيج اكثر تعقيدا .

ولا تقتصر ظاهرة تبادل الاجيال على النباتات الزهرية فقط ، بل توجد عموما فى جميع المملكة النباتية . بما ان اندماج الامشاج يصحبه بوجه عام الانقسام الاختزالى ضمن دورة الحياة ذاتها ، لذلك لا يعتبر الاخصاب وحده ، بل الانقسام الاختزالى ايضا من المظاهر الاساسية فى عملية التكاثر الجنسى . والجيل السبورى الذى ينتج السبورات كذلك الجيل المشيجى الذى ينتج الامشاج ، كلاهما يعتبر من الاجيال الجنسية . والواقع انه فى بعض انواع معينة من النباتات ثنائية المسكن تحتوى خلايا جسم النبات التى بها (2n) من الكروموسومات على كروموسومات تدخل فى تحديد الجنس .

وفى النباتات الوعائية vascular plants ، مثل النباتات الزهرية flowering plants والنباتات المخروطية conifers ،

والسراخس ferns يكون الجيل السبورى هو الطور البارز فى تاريخ الحياة بينما يختزل الجيل المشيجى الى طور غير واضح نسبيا ، ولكن كما سيتضح بعد ذلك فى الفصول اللاحقة فانه فى الانواع الاخرى من النباتات مثل الحزازيات mosses وانواع معينة من الطحالب algae يكون الجيل المشيجى هو ابرز الاجيال واوضحها .

التلقيح : Pollination

لايتم اخصاب البيضة وما يعقب ذلك من تمايز البذرة الا اذا وقعت حبوب اللقاح على الميسم . ويلزم التمييز بين عملية التلقيح وهى انتقال حبوب اللقاح من المتك الى الميسم وبين عملية الاخصاب وهى اندماج الامشاج المذكرة بالامشاج المؤنثة . ويوجد نوعان من التلقيح : التلقيح الذاتى self pollination وهو تلقيح الميسم بلقاح من نفس الزهرة او من زهرة اخرى على نفس النبات . والتلقيح الخلطى cross pollination وهو انتقال اللقاح من متك زهرة يحملها احد النباتات الى ميسم زهرة يحملها نبات آخر من نفس النوع او نوع آخر قريب الصلة به* . والعوامل الاساسية فى عملية التلقيح هى الرياح والحشرات ، الا ان الطيور وغيرها من الحيوانات وحتى الماء ، قد تحمل جميعها اللقاح من زهرة الى اخرى .

ويتم التلقيح الذاتى فى كثير من النباتات ومن بين النباتات ذات القيمة الاقتصادية التى يتم فيها التلقيح الذاتى نباتات الشوفان ، والقمح ، والرز ، والبازلاء ، والفاصوليا ، وفول الصويا ، والفول السودانى ، والكتان ، والقطن ، والطماطم tomato ، وفواكه الموالح citrus fruits ، والخوخ ، والتبغ tobacco . اما التلقيح الخلطى فهو اكثر شيوعا من التلقيح الذاتى كما انه يتم من حين لآخر فى الانواع التى تلقح تلقيحا ذاتيا .

وقد يؤدى التلقيح الخلطى الى تجميع الوحدات الوراثية للابوين بما فيهما من تنوع واختلاف ، وهذا يؤدى الى قابلية النسل للتباين ، وبالتالى زيادة قدراته على ملاءمة البيئات الجديدة وهى حالات تعتبر من المميزات التطورية للانواع .

وفى كثير من الانواع يظهر اثر التلقيح الخلطى مباشرة وبدرجة اوضح فى انتاج بذور اوفر او فى نسل اقوى من الابوين . ولعدد كبير جدا من النباتات الزهرية مواءمات تمنع او تعوق عملية التلقيح الذاتى ، وهذه المواءمات العديدة تتعلق عادة بدور الحشرات فى عملية التلقيح . ومن ابرز هذه المواءمات تحور الزهرة حتى يصبح التلقيح بالحشرات ممكنا ، وفى بعض الحالات ضروريا ، لكى يتم تكوين البذرة . وهذه المواءمات من الكثرة والتباين بحيث ان الجهل بها قد يتسبب فى متاعب خطيرة خصوصا عندما يتم ادخال نباتات جديدة الى المنطقة . ومن الامثلة على ذلك تاريخ انتاج التين الازميرلى Smyrna fig فى ولاية كاليفورنيا . ففى عام 1880 تم ادخال عدد كبير من عقل هذا النبات من اسيا الصغرى ، وقد نمت هذه العقل نموا طيبا ، الا ان الثمار تساقطت من الشجرة قبل النضج . وعندما عرف ان زنبوراً wasp دقيقا يقوم بعملية التلقيح ادخلت هذه الحشرة فازدهر المحصول بعدها . ولابد لمربى النباتات من الالمام بعملية التلقيح اذا ما حاولوا انتاج اصناف اعظم نفعا من غيرها للانسان .

التلقيح بالحشرات : Insect Pollination

تلقح نسبة كبيرة من النباتات الزهرية بالحشرات . واهم هذه الحشرات النحل والزنابر والفراشات butter flies ، وفراشات الليل months ، الا ان الخنافس beetles والذباب flies وغيرها تتردد ايضا على الازهار . وتقوم الطيور ايضا او حتى الثدييات (الخفافيش bats) مثلا بعملية التلقيح . والازهار التى تلقح بالحشرات تتلون عادة بالوان زاهية او تتميز برائحتها واحيانا بكلتا الخاصيتين . ولقاح هذه الازهار ثقيل او لزج ولا ينتشر بسهولة بفعل الرياح .

وتحتوى كثير من هذه الازهار على غدد رحيقية nectaries ، وهى انسجة خاصة او اعضاء تفرز الرحيق .

---

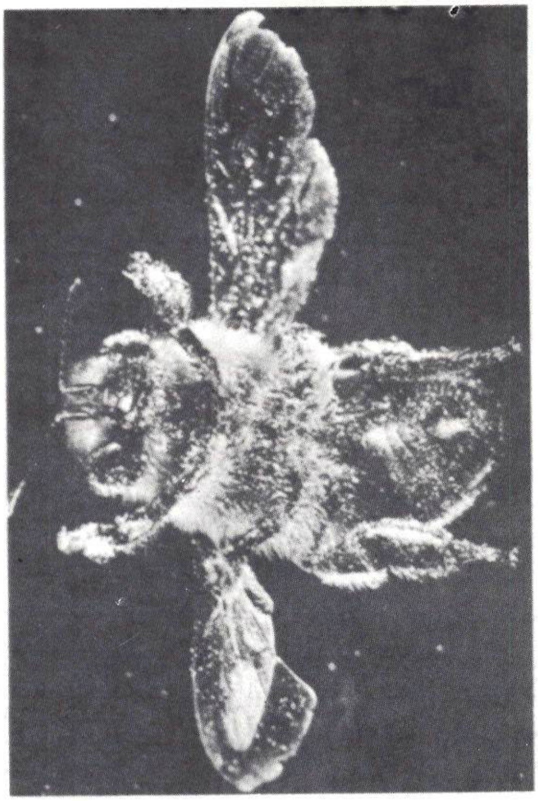
* ومع ذلك فان انتقال اللقاح بين افراد الاخلاف الخضرية cloneيعتبر تلقيحا ذاتيا .

ويحتوى هذا الرحيق على نسبة من المواد السكرية تتراوح بين 4 فى المائة الى 65٪ وهذا الرحيق هو المادة الخام التى منها يصنع العسل . وتختلف الغدد الرحيقية اختلافا كبيرا سواء فى شكلها او فى موضعها . وتوجد بصحبة اى عضو من الاعضاء الزهرية . فقد يفرز الرحيق اما من سطح التخت او من جذر نتؤات تشبه المهماز تخرج من الغلاف الزهرى ، او من شعر يقع على البتلات او على المبيض ، وفى كثير من الازهار تتكون الغدة الرحيقية من حلقة حول قاعدة المبيض ، وفى بعض الازهار تختزل الاسدية او البتلات وتتحور الى غدد رحيقية .

وقد اثبتت تجارب عديدة خصوصا على نحل العسل صحة الاعتقاد السائد بدور اللون او الرائحة فى جذب الزهرة للحشرات . ويبدو ان حاسة الشم فى نحل العسل تقرب من شدة الحاسة فى الانسان ، الا انها اقوى فى الحشرات الاخرى خصوصا فى فراشات الليل months ، فهذه الفراشات يمكنها شم الرائحة على مسافات بعيدة . ونحل العسل به عمى الوان جزئى فهو اعمى بالنسبة للون الاحمر النقى حيث يراه كلون اسود . ويميز نحل العسل بين اربع مجاميع اساسية من الالوان ، ولكنه لايميز بين الوان كل مجموعة وهذه المجاميع من الالوان هى (1) اللون الاصفر ويشمل البرتقالى واللون الاخضر المصفر ؛ (2) اللون الازرق ويشمل اللون البنفسجى ، واللون الارجوانى ؛ (3) اللون الاخضر المزرق ، وكذلك (4) اللون فوق البنفسجى . وعادة مايتم تلقيح الازهار الحمراء بالفراشات التى ليس لها عمى الوان بالنسبة للون الاحمر ، واحيانا يتم تلقيحها بالطيور الطنانة humming birds

ويزور الزهرة نحل العسل وغيره من الحشرات سواء لجمع اللقاح او لامتصاص الرحيق الذى يتخذه غذاء له او لسلالته . وتتم عملية التلقيح مع هذه الانشطة بطريقة عفوية . فيوجد اللقاح عادة ملتصقا باجزاء الفم والرأس والسيقان والشعر الموجود على جسم نحل العسل بعد زيارته للزهرة (شكل 12ـ30) . فإذا مازار النحل زهرة اخرى فإن بعض اللقاح يلتصق بالميسم وتلقح الزهرة تلقيحا خلطيا .

ويعتبر التلقيح بالحشرات ذا اهمية كبرى بالنسبة لتطور النباتات وتكاثرها . وهو ايضا ذو اهمية اقتصادية حيث ان كثيرا من الانواع النباتية التى يستغلها الانسان بطريقة



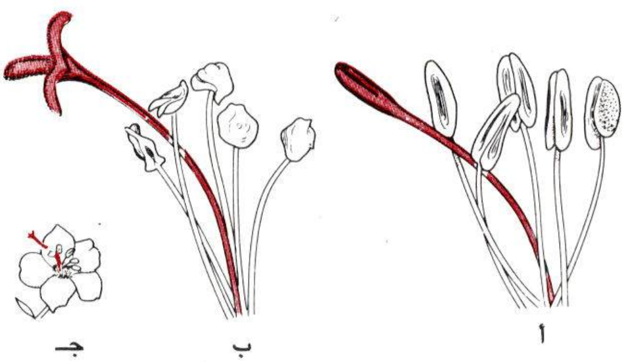
شكل (12 ـ 30)

حبوب اللقـاح للتفاح محمـولة عـلى الكساء الشعـرى للنحلة .

مباشرة او تستغلها الحيوانات الاليفة كطعام لها تعتمد على التلقيح بالحشرات . وفى امريكا مثلا تشمل هذه الانواع النباتية اكثر من 50 نوعا من نباتات المحاصيل . ومن بين هذه الانواع التفاح apple والكمثرى bear والتين الازمرلى smyrna fig والبطيخ melon والخيار والافوكادو avocado والكرنب والحنطة السوداء والبرسيم الحجازى وانواع كثيرة من النفل . وفى غياب انواع معينة من الحشرات لاتنتج مثل هذه النباتات بذورا او ثمارا .

المواءمات الزهرية التى تعين على التلقيح الخلطى ـ Floral Adaptations Favoring Cross-Pollination

فى كثير من النباتات التى لها ازهار كاملة تنضج الاسدية والكرابل فى اوقات مختلفة وهذا بالطبع يساعد على التلقيح



شكل (12 ـ 31)

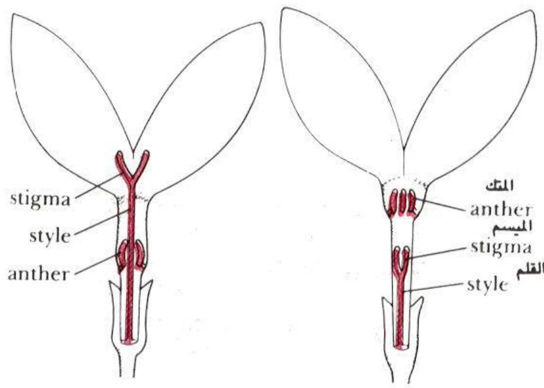
الازهار الديكوجامية لنبات سلم اليعاقبة - Jacon's ladder (Polem onium caeruleum)
أ ـ بدأت الاسدية فى تكوينها لحبوب اللقاح ولكن لا تزال منغلقة .
ب ـ انفتحت فصوص المتوك .
جـ ـ زهرة متكاملة .

الخلطى . ومثل هذه الازهار يطلق عليها الازهار الديكوجامية dichogamous . والخاصية الديكوجامية تبدو واضحة فى مظهرين ، اكثرهما شيوعا هو نضج المتوك قبل ان تتهيأ المياسم لاستقبال اللقاح ، بينما فى بعض النباتات ينضج الميسم قبل تفتح الاكياس اللقاحية للاسدية . ففى نبات سلم اليعاقبة (Polemonium caeruleum) وهو من نباتات الزينة الذى يزرع فى الحدائق ، تنثر المتوك لقاحها قبل ان يتهيأ ميسم نفس الزهرة لاستقبالها . ففى هذه المرحلة تطوى الفصوص الثلاثة للميسم حول نفسها (شكل 12ـ31) وبعد انتشار اللقاح تبسط فصوص الميسم وتتباعد عن بعضها . استعدادا لاستقبال لقاح من ازهار حديثة السن .

والازهار التى تنضج فيها المدقات والاسدية فى اوقات متفاوتة تعتبر شائعة بدرجة قصوى ، فمعظم عوائل النباتات الزهرية بها بعض الانواع التى توجد فيها هذه الحالة . والفترة بين نضج الاسدية والوقت التى يصبح فيه الميسم مهيأ لاستقبال اللقاح يتراوح بين ساعة واحدة او نحو ذلك وعدة ايام . ومن امثلة النباتات الديكوجامية الافوكادو ونبات الجزر وكذلك عدة انواع من اليوكالبتس .

والحشرات التى تحوم حول الاجزاء الزهرية او تتسلقها تلقح انواعا كثيرة من الازهار التى ليس بها مؤامات بنائية للحشرات الزائرة ، وتحدث هذه الزيارات بمحض الصدفة . وبين حين وآخر يتم التلقيح الخلطى بالحشرات بمحض الصدفة ايضا . الا ان تركيب ازهار كثير من النباتات يتلاءم مع زيارة نوع واحد او على الاكثر بضعة انواع من الحشرات . وتزور هذه الحشرات ازهار نفس النوع بانتظام بحيث كثيرا ماتحمل اللقاح من متوك زهرة الى مياسم زهرة اخرى . ومثل هذه الازهار لها مؤامات عديدة تعين على التلقيح الخلطى . كما تجعل التلقيح الذاتى غير ممكن او مستحيلا وعادة مايحتل الميسم مكانا فى الزهرة بحيث يحتك باى حشرة تزور الزهرة ، الا انه لايستقبل لقاحا من متوك نفس الزهرة وتتم هذه الحالة باستطالة القلم ، وبروزه بشكل واضح فوق المتوك .

وفى كثير من الازهار توجد علاقة وثيقة بين عمق الانبوبة التويجية للازهار وطول اجزاء الفم للحشرة التى تزورها لامتصاص الرحيق منها . فقد يوجد الرحيق فى اعماق الانبوبة التويجية بحيث لايصل اليه الا الفراشات الليلية moths التى لها اجزاء فم طويلة وانبوبية . وهذا مايحدث تماما فى عدد من الازهار ذات الرائحة النفادة البيضاء اللون او التى تقرب من هذا اللون ، وتتفتح هذه الازهار فى الليل فازهار نبات رعرع ايوب (Saponaria) وبعض انواع الدخان والدتوارة (Datura) لها انبوبة تويجية يبلغ طولها 3 بوصات ولا تلقح بغير الفراشات الليلية ذات المنقار الطويل المعكوف التى تطير ليلا . ويلقح النفل الاحمر red clover بالنحل الطنان البرى bumblebee وطول اجزاء فمه يكفى لبلوغه الرحيق الذى يوجد فى ظهر الزهرة . وقد يتم تلقيح النفل الاحمر ايضا بنحل العسل عند جمعه للقاح ، الا انه لايبلغ الرحيق ، وقد تزور ضروب من الحشرات ومن بينها الذباب ، الازهار ذات الانبوبة التويجية الضحلة او التى



شكل (12 ـ 32)

تباين القلم heterostyly
فى زهـرة نبات الهصطـونية (ذو أزهـار زرقاء) bluet
(Houstonia caerulea)
(على اليسار) زهرة طويلة القلم
(على اليمين) زهرة قصيرة القلم

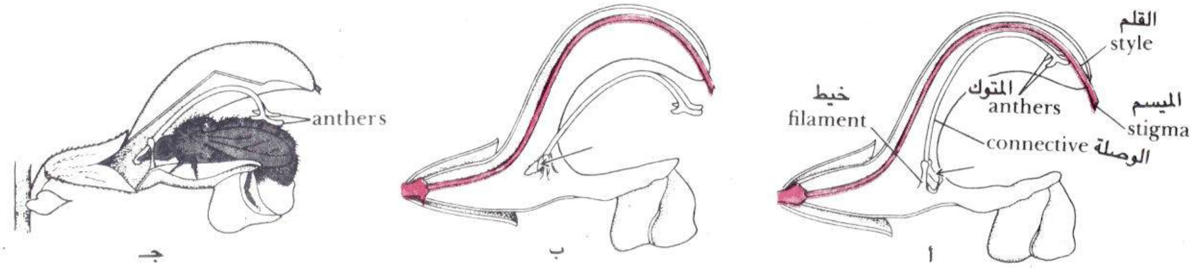
تحمل لقاحا مكشوفا .

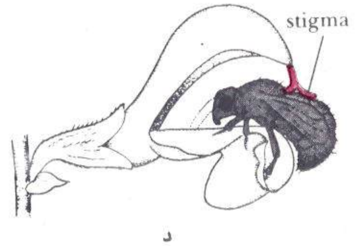
ومما يساعد على التلقيح الخلطى فى النباتات اختلاف اطوال القلم فى افراد النوع الواحد وهو مايعرف باسم تباين القلم heterostyly . وتعتبر ظاهرة تباين القلم من الظواهر الشائعة بدرجة كبيرة ، وقد توجد هذه الظاهرة فى عد كبير من العوائل النباتية ومن بينها عائلة نبات القرنفل pinks وعائلة نبات الورت st . John's worts وعائلة نبات الخلجان heaths وعائلة نبات حامض الخشب wood sorrels وعائلة نبات الجنتيانا gentians وعائلة نبات الخشخاش poppies وعائلة نباتات عشبة الخنزير pigweeds وكثير غيرها وفى هذه الظاهرة يوجد طرازان من الازهار . طراز جميع ازهاره لها اقلام طويلة وتقع المتوك تحت الميسم ، اما الطراز الآخر ففيه الازهار ذات اقلام قصيرة والمتوك فى اعلى الميسم (شكل 12ـ32) . وتدفع الحشرة باجزاء فمها فى الزهرة ذات الاقلام القصيرة حيث تلامس المتوك ، فيغطى جسمها باللقاح . فاذا مازارت الحشرة بعد ذلك زهرة ذات اقلام طويلة وقع هذا اللقاح على الميسم الذى يوجد تقريباً على نفسُ مستوى المتوك فى الزهرة ذات الاقلام القصيرة . وبالمثل فإن اللقاح الذى يلتصق باجزاء فم الحشرة عند زيارتها لزهرة ذات اقلام طويلة يقع على ميسم زهرة ذات اقلام قصيرة التى توجد على نفس مستوى المتوك على التويج فى الزهرة ذات الاقلام الطويلة .

ولا تمنع خاصية تباين القلم من حدوث التلقيح الذاتى ، فعندما تسحب الحشرة اجزاء فمها من تويج زهرة اقلام طويلة قد تنقل اللقاح من المتك الى ميسم نفس الزهرة . والاكثر احتمالا هو ان يحدث التلقيح الذاتى فى الازهار ذات القلم القصير لان اجزاء الفم تنقل اللقاح بسهولة الى اسفل وتضعه على الميسم ، ومع ذلك تختلف النباتات التى بها خاصية تباين القلم اختلافا كبيرا ، من حيث تكوين البذور نتيجة للتلقيح الخلطى ، ففى بعض النباتات يكاد يتم الاخصاب كاملا اذا مالقحت ذاتيا ، اما غيرها فيقل عدد البذور عن عددها اذا ما لقحت تلقيحاً خلطيا ، والبعض الاخر مثل الهوستونيا Houstonia (شكل 12ـ32) لاتنتج بذورا بتاتا . وانخفاض الخصوبة بالتلقيح الذاتى يرجع الى ظاهرة عدم التوافق الذاتى التى سنشرحها فيما بعد .

التلقيح فى نبات السلفيا : *Pollination in salvia*

فى انواع السلفيا salvias (المريمات sages) توجد طريقة آلية لعملية التلقيح ، فحركة الخيوط الفجائية تؤدى الى نقل اللقاح الى الحشرة الزائرة . ومن اشهر انواع المريمات التى توجد فيها هذه الطريقة النوع المسمى بالسلفيا (Salvia pratensis) وهو من اعشاب الزينة التى تزرع ، وازهاره ذات لون ازرق . والزهرة غير منتظمة بها شفتان ظاهرتان بوضوح احداهما عليا والاخرى سفلى (شكل 12ـ33) ، والاخيرة تستخدم كمنصة يهبط عليها النحل عند تلقيح الزهرة . ويفرز الرحيق من قاعدة المبيض ، ولا يوجد فى الزهرة غير سداتين ، وتختفى الاكياس اللقاحية تحت الشفة العليا . وما يبدو من خيط هو فى الواقع استطالة النسيج الرابط connective tissue (وهو نسيج يوصل الاكياس اللقاحية على كل جانب منها) وفى الاتجاه السفلى ، الذى يمتد ايضا عند القاعدة . ويلتحم هذا الجزء الممتد مع تركيب مماثل من المتك الآخر ليكون صفيحة تقفل فم الانبوبة التويجية . والخيط الحقيقى قصير جدا ويقع على كل جانب من جوانب النسيج الموصل ويتصل به .





شكل (12 ـ 33)

تلقيح زهرة السلفيا (Salvia) salvia

أ ـ يشير السهم إلى الصفيحة المتكونة من اتحاد قواعد الوصلتين .
ب ـ ان الضغط على الصفيحة (مشار اليها بسهم يؤدى إلى ميل المتك إلى الأمام .
جـ ـ تدفع النحلة الصفيحة إلى الخلف وبذا يميل المتك إلى الأمام ناثرا حبوب اللقاح فوق ظهر النحلة .
د ـ تزور النحلة زهرة اكبر سنا نما الميسم الآن إلى الأسفل وانفتحت الفصوص ، وباحتكاك النحلة بسطح الميسم يتلقى الأخير حبوب اللقاح من ظهر النحلة (اظهر بالالوان كل من الميسم والقلم ، والمبيض .

وزهرة السلفيا من الازهار الديكوجامية ايضا . فإذا ماتفتحت لاول مرة كان لقاحها ناضجا اما الفصوص الميسمية فتظل مغلقة ولا تستقبل اللقاح . فاذا مادخلت النحلة الزهرة للحصول على الرحيق ، فانها تقابل صفيحة النسيج الموصل فتدفعها الى الخلف والى اعلى ، وهذا يسبب تحريك الموصل وما يتصل به من متوك الى الامام . حينئذ تنقر المتوك ظهر النحلة وتلامسها ، فيتعفر باللقاح . وعندما تنسحب الحشرة بجسمها يعود الموصل الى وضعه الاول . واذا مانضج الميسم الذى يقع فوق المتوك ونما فى الاتجاه السفلى وتفتحت فصوصه ، واذا مازارت نفس النحلة احدى هذه الازهار الاقدم سنا ، فإنها تحتك بالفصوص التى تتجه الى اسفل فينتقل اليها اللقاح . ومن النادر ان يلقح الميسم بلقاح من نفس الزهرة .

ظاهرة عدم التوافق : Incompatibility

فى كثير من النباتات ذات الازهار الكاملة يعقب التلقيح الذاتى عمليتا الاخصاب وتكوين الثمار والبذور . وتعرف هذه الحالة باسم التوافق الذاتى Self – compatibility وفى النباتات الاخرى ذات الازهار الكاملة ، لايتم الاخصاب اذا مالقح الميسم بلقاح من نفس الزهرة او بلقاح من زهرة اخرى على نفس النبات ، او بازهار من نباتات اخرى لها نفس التركيب الوراثى . وتعرف هذه الحالة باسم عدم التوافق الذاتى self – incompatibility

ويمكن ترتيب الانواع الكثيرة التى بها ظاهرة عدم التوافق الى مجاميع من الافراد التى تعجز عن تكوين بذور اذا مالقحت بافراد اخرى من نفس المجموعة ، الا انها تصبح خصبة اذا مالقحت بافراد من مجاميع اخرى . وقد عرفت عدة مئات من هذه الانواع ، وهى اما برية او منزرعة . ومنذ بضع سنوات تم تقدير مايوجد من نباتات كاسيات البذور التى تتميز بظاهرة عدم التوافق الذاتى باكثر من 3000 نوع . ويحتمل ان هذا العدد لايمثل فى الواقع الا جزءا من عدد هذه الانواع . وتنشأ معظم حالات عدم التوافق من بطء معدل نمو الانبوبة اللقاحية سواء على الميسم او فى القلم اذا مالقحت بلقاح من ازهار تتشابه وراثيا . ويتحكم فى النمو جينات genes معينة . فاذا ما حملت الانبوبة اللقاحية نفس جينات العقم التى على القلم تباطأ نمو

اللقاح بالدرجة التى تذبل فيها الزهرة عادة وتسقط قبل أن تتم عملية الاخصاب . اما اذا اختلفت الجينات التى على القلم عن الجينات التى يحملها اللقاح اختلافا مناسبا ، فإن الانبوبة اللقاحية تنمو بسرعة ، وبذلك تتم عملية الاخصاب .

وفى معظم نباتات الزينة تعتبر ظاهرة عدم التوافق قليلة الاهمية ، وذلك لان هذه النباتات تزرع للحصول على ازهارها واوراقها فقط . وكذلك لاتعتبر عادة هذه الظاهرة ذات اهمية فى انتاج المحاصيل التجارية التى تتكاثر بالبذور . فالنفل الاحمر مثلا ، به ظاهرة عدم التوافق ، ومع ذلك فإنه ينتج بذورا لان عملية التلقيح الخلطى تتم فى الحقل بين افراد تختلف وراثيا فيما بينها . الا ان وجود ظاهرة عدم التوافق فى النباتات التى تتكاثر خضريا وتزرع بالخلفة الخضرية ، مثل التفاح والكمثرى والكرز والبرقوق واللوز فانها تعتبر حالة اخرى فتعقد بعض اصناف التفاح ثمارا بكمية طيبة اذا مالقحت تلقيحا ذاتيا ، او لقحت بلقاح من شجرة اخرى من نفس الصنف . الا ان كثيرا من اصناف التفاح لاتتوافق مع بعضها ، لذلك تزرع هذه الاصناف للاغراض التجارية فى حدائق بها صنفان يمتازان بلقاحهما الفعال فى عملية التلقيح الخلطى ، كما يمتازان بتداخل فترات ازهارهما .

ويلزم لمزارعى التفاح الحصول على قائمة بالاصناف التى تتوافق مع بعضها عند تهجينها وذلك لتجنب تجمعات معينة من هذه الاصناف . وترتب هذه الاصناف فى البساتين بحيث تتبادل عدة خطوط من احد الاصناف مع خطوط من الصنف الآخر ، ويقوم النحل بعملية التلقيح الخلطى . وغالبا مايستأجر مربى التفاح خلايا النحل من النحالين ويضعونها فى بساتينهم اثناء فترة التزهير . بل ان كثيرا من الاصناف ذات التلقيح الذاتى تنتج محصولا اوفر اذا ماتم تهجينها بصنف آخر .

والكمثرى والبرقوق مثلها مثل التفاح تحتوى على اصناف لاتتوافق توافقا ذاتيا . واللوز والكرز الحلو Sweet cherries تعتبر ايضا من الاصناف التى لاتتوافق توافقا ذاتيا ، الا ان الكرز الحريف Sour Cherries والنكتارين nectarines والمشمش ليست كذلك . فالدراية العملية لمظاهر التلقيح تعنى النجاح او الفشل لمزارعى اشجار الفاكهة .

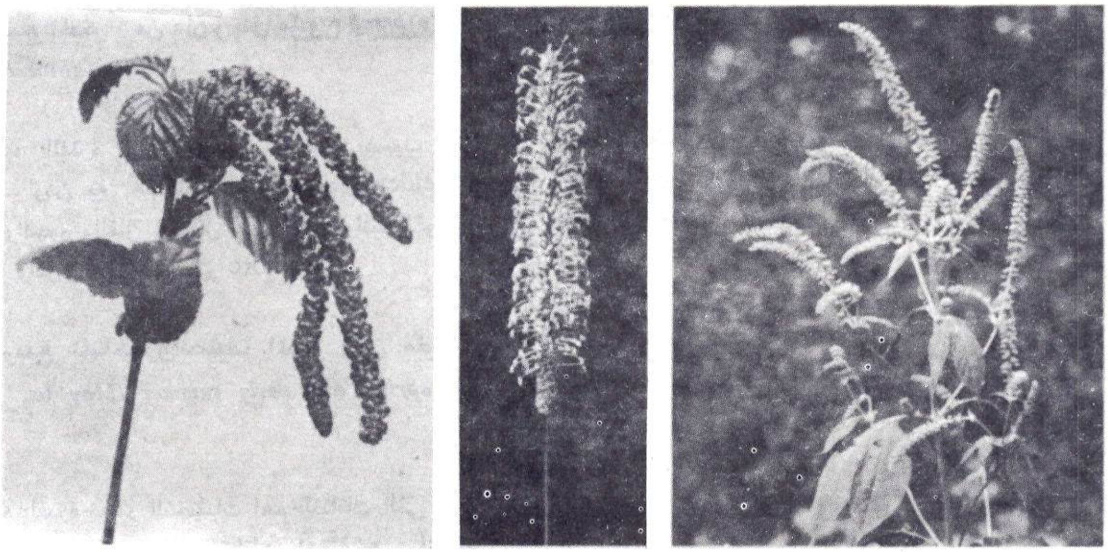
التلقيح بالرياح : Wind Pollination

يعتبر التلقيح بالرياح من وجوه كثيرة ابسط انواع التلقيح . والزهرة التى تلقح بالرياح هى فى العادة صغيرة وغير واضحة وحيث ان الازهار ليست زاهية اللون وخالية من الرحيق ، فإنها تتجمع غالبا فى عناقيد مكتظة . وغالبا مايختزل الغلاف الزهرى او تخلو الزهرة منه . وقد تبرز الاسدية من الزهرة وتتدلى خارجها بخيوط طويلة والمياسم غالبا كبيرة ومتفرعة ، وحبوب اللقاح صغيرة وخفيفة وجافة ، وعادة ماتتكون بكميات اكبر مما فى الازهار التى يتم تلقيحها بالحشرات (شكل 12ـ14 ، 12ـ34).

ويوجد التلقيح الخلطى فى كل من النباتات الخشبية والعشبية ومن بين النباتات الخشبية التى تلقح بالرياح المخروطيات Conifers ، ونباتات الحور ، والبلوط الامريكى hickories ، والجميز Sycamore . فى كثير من النباتات الخشبية تتجمع الازهار المذكرة واحيانا الازهار المؤنثة فى عناقيد مدلاة تسمى النورات الهرية Catlins . ومن بين النباتات ريحية التلقيح العشبيـة حشيشة الخنـزير Pigweeds ، والحماض Sorrels ، والدوكس docks ولسان الحمل Plantains ، والقريص Nettles ، وكزبرة الحبشة Meadow rue وحشيشة الدينار ، والنجيليات ، والبوط Rushes والديس Sedges ، وبعض الانواع يتم تلقيحها اما بالرياح او بالحشرات . فالازهار الصغيرة لانواع الصفصاف مثلاً ذات الوان زاهية ، كما انها تحتوى على رحيق . فإذا لم ينقل اللقاح بالحشرات ، فإنه قد يحمل بالرياح . وبعض انواع القيقب تلقح ايضا بكل من الرياح والحشرات .

حمى الدريس Hay Fever

يدرك عدد كبير من الناس ويتمنون ان يتجاهلوا ما يدركون ان عديدا من النباتات سواء اكانت برية او منزرعة يتم تلقيحها بالرياح . ويؤثر لقاح هذه النباتات على صحة هؤلاء الافراد ، وتعرف هذه الحالة باسم الحساسية Allergy . ونفس هذا اللقاح لايضر افرادا آخرين . ويشاع تسمية الحساسية باسم « حمى الدريس » «Hay Fever» ولكى يسبب لقاح اى نبات معين حمى الدريس يلزم ان يتميز بثلاث خصائص هامة ، فيجب ان يتم انتاجه بكميات كبيرة



شكل (12 ـ 34)

النباتات الملقحة بفعل الرياح والتى ربما تتسبب فى حمى الدريس hay fever

(اليسار) النورات الهرية catkin لنبات قان الورق paper birch (Betula papyrifera)

(وسط) أزهار ذيل القط timothy (phleum pratense)

(اليمين) الأزهار المذكرة لنبات حشيشة الخرقة الضخم great ragweed (Ambrosia trifida)

كما يجب ان يكون خفيفا بحيث يظل معلقا بسهولة فى الهواء ، واخيرا يجب ان يسبب اثارة لاصحاب الحساسية . وعلى ذلك ، وبالرغم من ان النباتات ريحية التلقيح هى التى تسبب كل انواع حمى الدريس على وجه التقريب ، الا ان جميع اللقاحات التى تحملها الرياح لاتسبب حمى الدريس . فمن الانواع المختلفة من نباتات البردى Cattails ، تنتشر كميات كبيرة من اللقاح مثلها فى ذلك مثل المخروطيات ، الا ان هذه النباتات فيما عدا بضعة انواع من المخروطيات ، لاتسبب حمى الدريس .

ومن الاعتقادات الشائعة ان انواع القضبان الذهبية Golden Rods ، والكوسموز Cosmos والورود وانواع عباد الشمس هى مصادر هامة للقاح الذى يسبب حمى الدريس . ويتأثر بعض الناس بهذا اللقاح ، الا ان هذه النباتات تعتبر حشرية التلقيح ، فلقاحها ثقيل ولا تحمله الريح بسهولة . ولا تسبب انواع القضبان الذهبية او الورود اعراضا مرضية لصاحب الحساسية ، الا اذا كانت فى متناول اليد وعند ملامستها . وعادة فإن حمى الدريس التى تسببها هذه النباتات لاتحدث الا ازعاجا طفيفا .

فصول التلقيح : Pollination Seasons

اذا كان الشخص حساسا لحمى الدريس فان اصابته بها تتوقف على نوع وكمية اللقاح فى الهواء وهذا يتوقف بدوره ، فيما عدا الاحوال الجوية التى يسقط فيها المطر وتهب الرياح على الانواع النباتية التى توجد فى منطقة معينة . وتوجد علاقة بين الموعد السنوى لظهور حمى الدريس وبين فترة ازهار هذه النباتات وفى الولايات المتحدة الامريكية امكن التعرف على ثلاثة فصول لحمى الدريس الا انه يوجد اختلاف محلى كبير فى توزيع النباتات التى تسبب حمى الدريس وكذلك فى الفترات التى يتم فيها تلقيح هذه النباتات .

فصل الربيع المبكر (من مارس الى مايو) *Early spring (March to May)*

فى هذه الفترة تظهر حمى الدريس بسبب لقاح الاشجار .. ومن بين هذه الاشجار البيلسان box elder والدردار والحور والقان (شكل 12ـ34)، والبلوط والجوز الامريكى والمران والاسفندان sycamore .

فصلا الربيع المتاخر والصيف المبكر (من مايو الى يولية) *Late spring and early summer (May to July)*

فى هذه الفترة تعتبر النجيليات اهم النباتات التى تسبب حمى الدريس واكثر هذه النباتات اهمية هى السفون Kentucky bluegrass ، اروا حمراء redtop وعرف الديك orchard qrass وذيل القط timothy (شكل : 12ـ34) والانثوكسانثم sweet vernal grass ، والنجيل (النجم) Bermuda grass ، ونبات لسان الحمل الانجليزى English plantain وهو من الاعشاب الواسعة الانتشار ، قد يعتبر احد العوامل التى تسبب ظهور حمى الدريس فى هذا الفصل .

فصلا الصيف المتاخر والخريف (من اغسطس حتى سبتمبر) *Late summer and fall (August to September)*

وفى هذا الفصل يعتبر نبات رعرع ايوب ragweed (شكل 12ـ34) من ابرز النباتات التى تنتج اللقاح . وفى بعض الولايات الغربية يعتبر الحسك الروسى (Salsola) والقطف (Atriplex) والقصعين sagebrush اكثر اهمية من نبات رعرع ايوب .

والنباتات التى لها اهميتها لما تسببه من الاصابة بحمى الدريس كذلك فترات التلقيح لهذه النباتات ، وايضا كمية اللقاح فى الهواء ، كل ذلك يمكن تقديره فى اى منطقة وذلك بدراسة لقاحها . ويقدر اللقاح الموجود فى الهواء الجوى بتعريض شريحة مجهرية للهواء بعد تغطيتها بجيلاتين جلسرينى او فازلين . ثم يصبغ اللقاح الذى يلتصق بالشريحة ويدرس بالقوة الكبرى للمجهر . ويمكن التعرف على حبوب اللقاح بمظهرها السطحى الذى يختلف اختلافا كبيرا فى الانواع المختلفة (شكل 12ـ22). وتنشر الصحف احيانا احصاء عن عدد اللقاح اليومى حتى يعلم بها الذين يصابون بحمى الدريس .

الخلاصة : Summary

1ـ يتضمن التكاثر التزاوجى فى النباتات الزهرية اندماج الامشاج المذكرة بالامشاج المؤنثة لتكوين البيضة المخصبة . وتنشأ الامشاج من خلايا وانسجة داخل الزهرة .

2ـ الاجزاء الاساسية فى الزهرة هى الاسدية والمدقة . وتنقسم السداة الى خيط ومتك ، والمدقة الى ميسم وقلم ومبيض . والمدقة اما بسيطة وتتكون من كربلة واحدة فقط او مركبة وتتكون من كربلتين او اكثر . ويتكون الغلاف الزهرى من اوراق كأسية وتويجية ، وقد يحيط بالاسدية والمدقات الا ان ذلك ليس مظهرا اساسيا من مظاهر الزهرة وقد تتميز عادة نباتات ذوات الفلقتين عن نباتات ذوات الفلقة الواحدة بعدد الاعضاء الزهرية فى كل محيط .

3ـ تعتبر الزهرة عادة مكونة من محور يحمل زوائد . وفى الامكان مقارنة هذا التركيب كله بمحور خضرى يحمل اوراقا . وتسمى الاسدية والكرابل باسم الاوراق السبورية ، حيث انها تحمل سبورات .

4- النمط العمومى (البدائى) للزهرة هى انها زهرة ثنائية الجنس منتظمة مبيضها علوى . وبها غلاف زهرى ، والاسدية والكرابل مرتبة ترتيبا حلزونيا ، والاجزاء الزهرية غير ملتحمة : وقد حدثت تحورات عديدة للازهار اثناء تطورها .

5- من بين التحورات التى تمت فى الازهار التحام البتلات فى انبوبة زهرية والتحام الانبوبة الزهرية بجدار المبيض (مبيض سفلى)، وكذلك عدم انتظامها ويبدو ان التطور الزهرى يتسم باختزال عدد الاجزاء ، وكذك اندماج اجزاء الزهرة .

6- بعض الازهار ثنائية الجنس ، وبها كل من المدقات والاسدية . اما غيرها فهى وحيدة الجنس بها احد هذه الاعضاء فقط . ويعتبر النوع وحيد المسكن اذا حمل على نفس النبات كلا النوعين من الازهار الوحيدة الجنس . كما يعتبر ثنائى المسكن اذا وجدت الازهار المذكرة والازهار المؤنثة على افراد مختلفة للنوع .

7- كثير من المظاهر التى تحدث لتكوين البذرة هى مظاهر مجهرية ويسبق تكوين البذرة وجود سبوزات صغيرة وسبورات كبيرة ذات خلية واحدة داخل كل من المتوك والبويضة .

8- يتركب المتك الصغير من اربعة اكياس سبورية صغيرة على شكل فجوات يحيط بها انسجة المتك العقيمة . وداخل الحافظات السبورية الصغيرة (الاكياس السبورية الصغيرة) توجد الخلايا الامية للسبورات الصغيرة التى تكون رباعيات من السبورات الصغيرة وذلك بالانقسام الاختزالى . والسبورات الصغيرة بدورها تكون حبوب اللقاح التى يتكون كل منها من خلية انبوبية وخلية انشائية .

9- يوجد داخل المدقة الخلايا الامية للسبورات الصغيرة يحيط بها النيوسيلة . وربما لايوجد جدار للاكياس السبورية الكبيرة وينشا من قاعدة النيوسيلة غلاف او اثنان يحيط بها تماما الا فى موضع النقير . وتنقسم الخلية الامية السبورية الكبيرة بالانقسام الاختزالى لتكون صفا رباعيا من السبورات الكبيرة ، ولا ينمو منها بعد ذلك الا سبور واحد فقط . ومن السبور الكبير يتكون الكيس الجنينى الذى يحتوى على سبع خلايا وثمانى انوية وتتكون البويضة الناضجة من عنق ونيوسيلة (اذا لم تتحلل مبكرا) وكيس جنينى وبه ثمانى انوية وكذلك غلاف او اثنان .

10- بعد التلقيح تنمو الانبوبة اللقاحية خلال القلم . ويتكون مشيجان ؛ ونواة احد المشيجين يندمج بنواة البيضة ، اما نواة المشيج الآخر فتندمج بالانوية القطبية لتكون النواة الابتدائية للاندوسبرم .

11- ينتج من البيضة المخصبة الجنين الذى يتكون من فلقة او فلقتين ورويشة وسويقة تحت فلقية وجذير ، وينشا من النواة الابتدائية للاندوسبرم نسيج الاندوسبرم الذى يغذى الجنين . وقد يستهلك الجنين الاندوسبرم اثناء نضج البذرة او يكون نسيجا واضحا يعتبر احد مكونات البذرة ويختزن فيه الغذاء الذى يستغل اثناء عملية الانبات ، وعلى ذلك تتكون البذرة الناضجة من غطاء بذرة واندوسبرم وجنين او غطاء بذرة وجنين فقط .

12- فى تاريخ حياة اى نبات زهرى يوجد طوران ، الجيل المشيجى والجيل السبورى . والجيل السبورى الذى يحتوى على (2n) يبدأ بالبيضة المخصبة ، وينتهى بتكوين الخلية الامية السبورية ، ويشمل هذا الجيل البيضة المخصبة ، والجنين والنبات الناضج ويحمل الاسدية (اوراق سبورية صغيرة) وما بها من اكياس سبورية على شكل فجوات والخلايا الامية السبورية الصغيرة كذلك الكرابل (اوراق سبورية كبيرة) والنيوسيلة والخلية الامية السبورية الكبيرة . اما الجيل المشيجى الذى يحتوى على (n) فانه يبدأ بالسبورات الصغيرة والسبورات الكبيرة وينتهى بانتاج الامشاج . ويشمل هذا الجيل السبور الكبير والكيس الجنينى الناضج وما به من بيضة ، والخلايا المساعدة والانوية القطبية ، والخلايا السميتية ، وجيل الطور المشيجى المذكر يشمل السبور الصغير . والخلية الانبوبية ،

والخلية الانشائية والامشاج وتوجد داخل حبة اللقاح او الانبوبة اللقاحية .

13- يلزم التمييز بين عمليتى اللقاح والاخصاب . وعملية التلقيح على نوعين تلقيح ذاتى وتلقيح خلطى . ويوجد من الظروف مايمنع التلقيح الذاتى ، او يساعد على التلقيح الخلطى وتشمل هذه الظروف المظاهر البنائية للزهرة ، نضج الاسدية والمدقات فى اوقات مختلفة (ديكوجامى) وكذلك عدم التوافق . واهم عوامل التلقيح الخلطى هى الرياح والحشرات وتسبب النباتات ريحية التلقيح جميع حمى الدريس تقريبا .

الثمار والبذور وإنبات البذور

The Fruit , Seed , and Seed Germination


13

مبادئ النبات الكويتي

الثمار والبذور وإنبات البذور
The Fruit , Seed , and Seed Germination

The Fruit

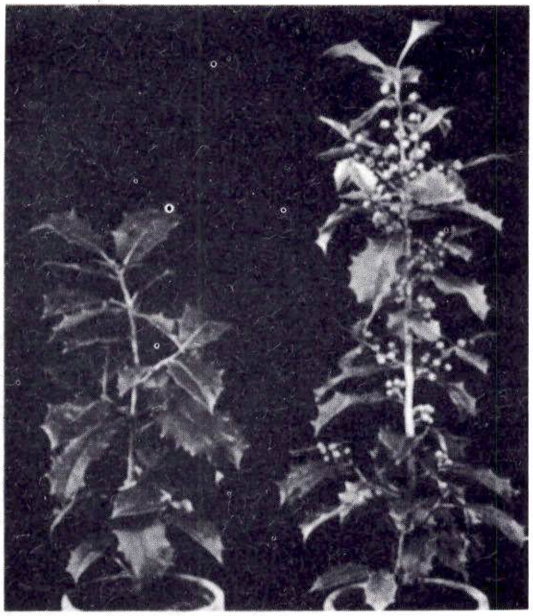
ان وصف الزهرة وتكوين البذرة الذى تم شرحه فى الباب السابق لا يعنى الا جزءا يسيرا من قصة التكاثر التزاوجى للنباتات الزهرية . ولن تكتمل القصة الا اذا شملت الثمار ، وانتثار البذور والثمار ، وكذلك انبات البذور . وهذه الموضوعات هي مدار البحث فى هذا الفصل .

والسؤال الآن هو : ما هى الثمرة ؟ فبعد عملية التلقيح يتم تكوين الثمار من المبيض وما يحويه من بذور . ويطلق على جدار المبيض الناضج جدار الثمرة Pericarp ، وهو يغلف بذور النباتات الزهرية ، لذلك يطلق على هذه النباتات مغطاة (كاسيات) البذور angiosperms وتعنى البذور المغطاة . وتجف بعض الثمار عند النضج ، اما غيرها فتتشحم ، وبعض الثمار الجافة تتفتح عند النضج وبعضها لا يتفتح . والثمار الصغيرة التى تحتوى على بذرة واحدة مثل ثمار نباتات عباد الشمس والذرة يطلق عليها بصفة مبسطة اسم البذور . ولا تتكون بعض الثمار إلا من مبيض ناضج وبذرة اما البعض الآخر فتحتوى على اجزاء من الزهرة ، كما تحتوى ايضا على تراكيب وثيقة الصلة بالزهرة . ويمكن تعريف الثمرة fruit عندئذ بانها محتويات مبيض ناضج (واحيانا مجموعة من المبايض). وقد يشترك مع المبيض اى جزء مجاور له قد يلتحم به ، ويقتصر انتاج الثمار على النباتات الزهرية لان الثمار لا تنشأ الا من اعضاء زهرية .

التلقيح والاخصاب وتكوين الثمار Pollination, Fertilization, and Fruit Development

بالرغم من أن تاثير عملية الاخصاب لا يتعدى البويضات ، الا ان هذه العملية تحدد عادة ، وبطريقة مباشرة تكوين الثمرة ككل . فاذا لم تلقح المياسم ولم يتحقق الاخصاب لبعض البويضات على الاقل ذبلت الزهرة عادة وسقطت دون مزيد من النمو . وتحتوى حبة اللقاح على اوكسينات وجبرلينات ، ولا يعزى عادة نمو الثمرة بعد التلقيح الى الكمية المحدودة من الهرمونات الموجودة فى حبة اللقاح او انبوبة اللقاح . واهم ما يدفع الثمرة الى النمو بعد التلقيح هو هرمون يتم انتاجه فى البذور المتكونة ، وهذا بدوره يحث على انتاج هرمون آخر فى جدار المبيض الصغير . ومن المحتمل ان كل هرمونات النمو الثلاثة وهى الاوكسينات auxins والجبرلينات gibberellins والسيتوكينيات cytokinins يتم تكوينها بكميات مختلفة . وعلى ذلك يتراكم الحافز او الباعث على الاستحثاث شيئا فشيئا . وفى غضون

بضعة ايام بعد التلقيح والاخصاب تنشط الثمرة كلها فتنمو ، وتزداد قدرتها على التنافس من اجل الغذاء . فبعد ان كانت الثمرة الحديثة عاجزة عن هذا التنافس تقريبا ، يصل هذا التنافس الى اعلى مستوى بالنسبة لاجزاء النبات الاخرى . والازهار والثمار الصغيرة للغاية فى التفاح والذرة وغيرها من النباتات التى يعوزها التنافس على الغذاء لا تستمر فى نموها الا اذا تيسرت لها هذه المواد . وعلى العكس من ذلك فان للثمار التى تنمو نموا سريعا على نفس النباتات السابقة تتنافس بشدة من اجل هذا الغذاء . وقد يصل هذا التنافس الى الانسجة النباتية التى تبعد عدة اقدام عن هذه الثمار . ويظن ان اساس هذه القدرة على التنافس هى الهرمونات التى تنتجها البذور النامية (شكل : 13ـ2) وغيرها من اجزاء الثمرة وان هذه الهرمونات تعمل بطريقة ما على تحويل مجرى الغذاء الى الثمار الصغيرة .



شكل (13ـ1) تأثير الهرمونات على ثمار شرابة الراعى (عود الخير) holly، يستنبت هذا النبات فى المنازل أحيانا وهو من النباتات ثنائية المسكن Dioecious ولذا يجب إنماء نباتاته المذكرة ومن ثم تلقيح النباتات ذات الازهار المؤنثة باليد. ويمكن مساعدة زهور ثماره بواسطة حامض dichlorophenoxyacetic ويساعد على تنظيم نمو النبات. (اليسار) نبات للمقارنة لم يلقح وقد فقد أزهاره. (اليمين) رشت أزهار وبراعم النبات بمحلول مخفف جدا من الحامض المنظم للنمو.

التكاثر العذرى (البكرى) Parthenocarpy

تنتج بعض انواع النباتات ثمارا حتى ولو لم يتحقق الاخصاب ، وتسمى هذه الظاهرة التكاثر العذرى Parthenocarpy . والثمار التى تتكون بهذه الطريقة لا تحمل بذورا ، ويبدو ان هذه الثمار تحتفظ بمستوىً عال من الهرمون يكفى لاستمرار نموها فى غياب البذور . وليست كل الثمار الابذرية ذات تكاثر عذرى ، فبعض الثمار اللابذرية تحتاج الى التلقيح ليتم تكوينها ، الا ان البويضات الصغيرة تسقط . اما جدار الثمرة فانه اذا بدى فى النمو فانه يواصله حتى يتم تكوينه . فمثلا توجد مثل هذه الحالة فى بعض اصناف العنب اللابذرية . ومن بين النباتات التى تتكاثر عذريا اى بدون تلقيح او اخصاب ، الاصناف المزروعة من الموز والاناناس Pineapple والبرتقال ابوسرة Washington navel orange ، وبعض انواع التين وبعض اصناف العنب اللابذرية seedless grapes .

والثمار التى تتكاثر تكاثرا عذريا يتم انتاجها صناعيا باستعمال مواد النمو المختلفة ، وذلك اما بخلطها بعجائن توضع على السطح المقطوع للقلم ، او حقنها مباشرة فى تجويف المبيض ، او وضعها فى التربة لتمتصها الجذور او رشها على البراعم والازهار ، او حتى تركها لتتبخر فى الهواء المحيط بالنبات . وباية طريقة من الطرق السابقة يمكن حث عدد من النباتات مثل الرقى (الدلاع) Water melon والخيار والقرع الصيفى summer squash وشجرة شرابة الراعى hully (شكل 13ـ1) والطماطم لتكوين ثمار لابذرية . ومن الممكن الآن الحصول على مستحضرات تجارية من الاوكسينات المخلقة ليستعملها اصحاب الحدائق ، سواء فى المنازل او للاغراض الاقتصادية فى رش الطماطم للحصول على محصول وفير منها . ويفيد مثل هذا الرش خصوصا فى انتاج محصول مبكر ، لان المجاميع الزهرية المبكرة لا تعقد ثمارا فى الطقس البارد عند عدم رشها . وبالرغم من ان مثل هذا المحصول من الطماطم لا يحتوى على بذور غالبا ، الا ان الغاية من معاملة نبات الطماطم بالاوكسينات هى منع الثمار من السقوط وكذلك تنشيط نمو الثمار الصغيرة . وفى

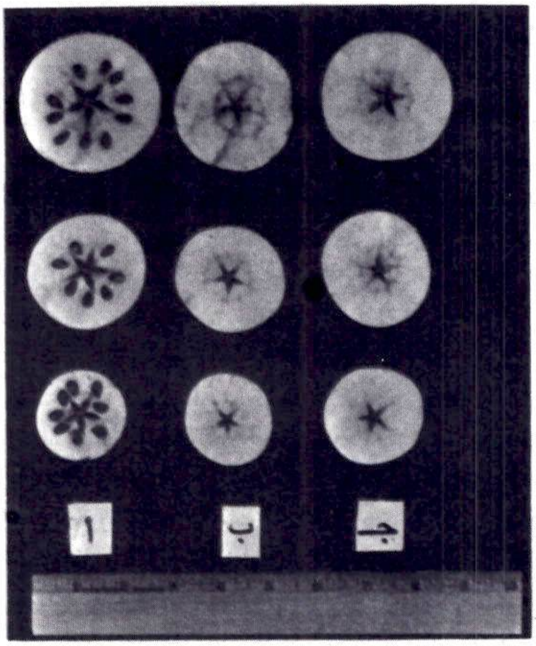
الصوبات الزجاجية حيث يصعب التلقيح العادى يتكاثر الطماطم تكاثراً عذرياً وتنتج ثماراً لابذرية ولكن الشكوى من ضعف نكهتها أدت إلى هجر هذه الطريقة اذا ما اريد استعمالها تجاريا . وتتركز نكهة الطماطم فى العصير الموجود فى تجاويف البذور ، وقياسا على ذلك لايتكون هذا العصير فى الثمار التى تتكاثر تكاثرا عذريا . واستعملت مواد النمو المخلقة لتحل محل الذنابر التى تلقح نوع التين الازمرلى (Calimyrna (Smyrna ، الذى لايتكون فيه التخت اللحمى القابل للاكل بحالته الطبيعية الا بعد عملية التلقيح ونمو البذور . وقد عدل عن مزاولة هذا الاجراء بسبب طبيعة الثمار اللابذرية التى تشبه العجينة .

شكل (13ـ2) ثمرات التفاح البذرية seeded والعذرية parthenocarpic قطاعات.

ا ـ ثمار بذرية من ازهار ملقحة نزعت البذور ووضعت على سطح القطع.

ب ـ ثمار لابذرية (عذرية) انتجت بمعالجة الزهور غير الملقحة بمعجون اللانولينى Lanolin الذى يحتوى على حامض الجبرليك gibberellic acid.

جـ ـ ثمار لابذرية أنتجت بمعالجة الزهور غير الملقحة بمعجون الانولين الذى يدخل فى تركيبه معجون من بذور التفاح الجنينية.



وبعض اصناف العنب التى تنتج ثمارا لابذرية بصفة طبيعية ترش بهرمون حامض الجبرليك بغرض زيادة عدد وحجم الثمار المتكونة . ويمكن التأكد من اهمية حامض الجبرليك فى عملية تكوين الثمار بهذه التجربة وهى وضع عجينة من بذور التفاح الجنينية على ازهار غير ملقحة ويعلو نشاط هذا المستخلص الذى يشبه فى تأثيره نشاط حامض الجبرليك ، بحيث ان حجم ثماره التى تتوالد عذريا لا تقل كثيرا عن حجم الثمار التى تتكون عقب عملية التلقيح (شكل 13ـ2).

انواع الثمار : Kinds of Fruits

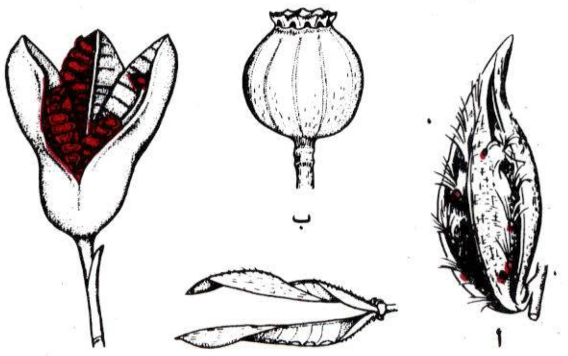
للثمار اهميتها بالنسبة للنباتات ، فالبذور تتيح للنبات فرصة انتثاره فى مساحات واسعة ، كما ان الثمار ذات اهمية جوهرية وذلك لكونها مصدرا للغذاء سواء للانسان او الحيوان . وتحورات الثمار من الكثرة بحيث ان دراستها تفيد فى معرفة الكثير عن علاقة النباتات المختلفة ببعضها وكذلك تطورها . وفى الواقع تختلف الثمار بدرجة كبيرة ، بحيث يصعب وضعها جميعا فى نظام تصنيفى حتى ولو كان هذا النظام على اعظم درجة من الاسهاب . وعلى اية حال ولكى نتفهم طبيعة الثمرة لابد من دراسة الزهرة التى منها نشأت . وغالبا ما يصبح من الضرورى ايضا دراسة الثمرة فى الاطوار المختلفة اثناء تكوينها حتى يمكن تصنيفها تصنيفا مناسبا . وتصنف الثمار عادة الى ثلاث مجاميع كبيرة هى : (1) بسيطة ، (2) متجمعة ، (3) مركبة . وفى الفقرات التالية لن نذكر من هذه المجاميع الا الثمار الاكثر شيوعا .

الثمار البسيطة : *Simple fruits*

تتكون الثمار البسيطة من نمو المبيض الذى يحتوى على مدقة واحدة سواء اكانت هذه المدقة بسيطة او مركبة . والمبيض اما علوى او سفلى ، وعلى ذلك تتكون الثمرة من المبيض فقط ، او المبيض الذى يلتحم به اجزاء اخرى من الزهرة (الانبوبة الزهرية عادة). والثمار البسيطة اما جافة او لحمية fleshy .

فى الثمار الجافة البسيطة يصير جدار الثمرة بعد نضجه ، اما جلديا او ورقيا او خشبيا . وتشمل الثمار الجافة البسيطة انواعا مثل الثمار الجرابية Follicle والبقلة legume والعلبة capsule والاكينية achene والحبة grain والجناحية samara والبندقة nut . وتتكون الثمار الجرابية والبقلة والجبة والجناحية بصفة دائمة من مبيض علوى . وربما تعتبر الثمرة الجرابية ابسط انماط الثمار ، وهى مشتقة من مدقة بسيطة وتتفتح على طول احد جوانبها فقط . ومن اشهر امثلة الثمرة الجرابية واكثر شيوعا ثمرة نبات حشيشة اللبن milkweed (شكل : 13ـ3 أ) وبعض الازهار مثل شرابة الراعــى (عود الـــريح) peonies والسنـــفيتون larkspurs والاخيليا columbines ، وتحتوى على عدد من المدقات البسيطة ، كل منها يكون ثمرة جرابية .

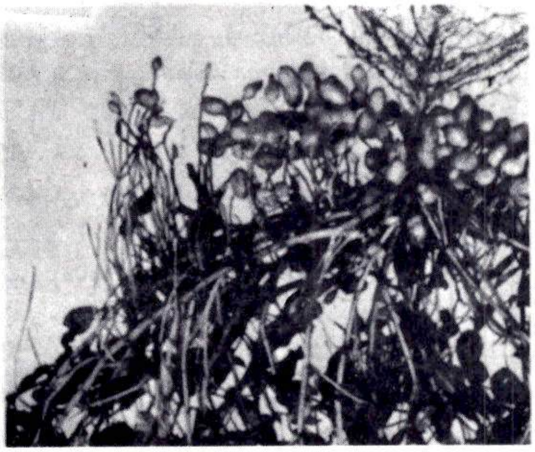
والبقلة ثمرة جافة تشبه الجرابية ، وهى تتكون ايضا من مدقة بسيطة ، ولكنها تتفتح على طول جانبيها وهى الثمرة المميزة لعائلة نبات البازلاء ، وفى بعض انواع هذه العوائل مثل نبات البرسيم الحجازى والفول السودانى peanut لا تتفتــح الثمرة عنــد النضج (الثمـرة غير متفتحــة indehiscent). والفول السودانى يسمى خطأ بالانجليزية pea nut ولكن ثمراته ليست بندقة بل ثمرة بقلة غير متفتحة . ويطلق على ثمرة البقلة اسم القرنة pod ، وعيب هذه التسمية انها تطلق على الثمار الجافة لبعض العوائل الاخرى كما تطلق على الباقلاء .



شكل (13ـ3) ثمار جافة بسيطة
أ ـ حوصلة follicle نبات الحشيشة اللبنية . milkweed (Asclepias syriace)
ب ـ علبة (capsule) الخشخاش (Papaver) عندما تحطم علب نبات الافيون Opium poppy تنز منها عصارة لبنية اما إذا جففت الثمرة فيصبح مابداخلها هو الافيون الخام.
جـ ـ بقلة الترمس Legume of lupine (Lupins)
د ـ كبسولة نبات العلم الازرق Capsule of iris (Iris. versicolorc)

ويستحق نبات الفول السودانى شيئا من التعليق لا لاهميته الاقتصادية فحسب ولكن للطريقة غير العادية التى تتكون بها ثماره.والنبات المنزرع قصير وهو عشبى حولى يبلغ ارتفاعه 15 ـ 20سم . وازهاره صغيرة صفراء تشبه ازهار البازلاء وهى جالسة وتحمل فى مجاميع من ثلاث ازهار او اكثر وتوجد فى آباط الاوراق . وعقب التقليح الذاتى تذبل الزهرة وتظهر الثمار الصغيرة على شكل عنق دقيق يوجد فى قمته بذور دقيقة غير ناضجة يبلغ عددها 1 ـ 3 بذور ، وفى غضون بضعة ايام يظهر على الثمار غير الناضجة تأثير موجب للجاذبية الارضية وتنثنى الى اسفل.وقاعدة الثمار الصغيرة مرستيمية،وبنشاط هذه المنطقة يتكون عنق او مشجب يستمر فى النمو الى اسفل وفى النهاية يخترق التربة الى عمق يبلغ 2 ـ 3 بوصة . وبعد ان يصل هذا العمق يتوقف المشجب عن النمو اما قمته التى تحتوى على البذور النامية فانها تنتفخ لتكون الثمرة المعروفة (شكل 13 ـ 4) . وعليه فبالرغم من ان الزهرة تعتبر من الازهار الهوائية،الا ان الثمرة يمكن اعتبارها من الثمار الارضية .

وباستعمال النظائر المشعة وجد ان الثمار الصغيرة لنبات الفول السودانى تتمكن من امتصاص الاملاح المعدنية من التربة بالقدر الذى يسمح بتشبيهها بالجذور. فعنصر الكالسيوم لا ينتقل من النبات الى الثمار بدرجة تكفى لنموها نموا طبيعيا وما تحصل عليه الثمار من التربة من هذا العنصر يعتبر متمما لحاجتها منه . وتمتص الثمار من عنصر الكبريت كمية تقدر بثمن ما تمتصه الجذور من هذا العنصر ،



شكل (13ـ4) الجزء القاعدى من نبات الفول السودانى Peanut (Arachis hypogaea) محملا بالثمار الناضجة وكذلك الثمار غير الناضجة



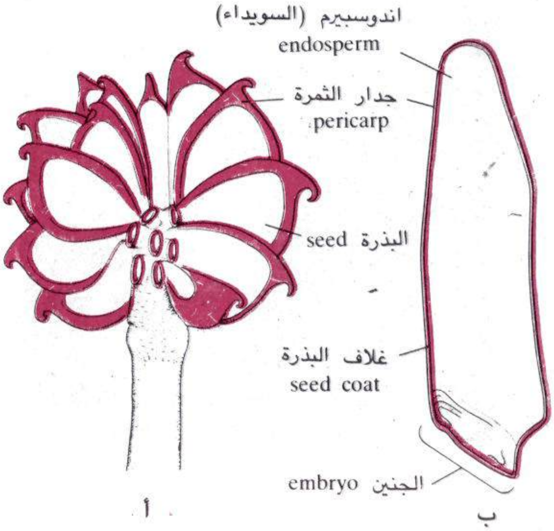
شكل (13ـ5) الجوز البرازيلى Brazil nuts (Bertholletia excelsa) إن القشرة الكروية هى الثمرة أو العلبة، أما التكوينات التى بداخلها (وهى التى تؤكل فهى بذور وليست جوزا.

وهذه الكمية تكفى لتعويض النقص فى هذا العنصر فى منطقة الجذر .

والعلبة capsule ثمرة تتكون من مدقة مركبة ذات مبيض علوى او سفلى وتعتبر العلبة اكثر انواع الثمار البسيطة الجافة شيوعا وبها يمكن تمييز عدد من العوائل النباتية . وتتفتح العلبة بطرق مختلفة فقد تتشقق على طول ظهر الكرابل كل كربلة على حدة (شكل 13 ـ 3 د) ، او على طول موضع التحام كربلتين وتتفتح علبة الخشخاش poppy capsule (شكل 13 ـ 3 ب) بتكوين صف دائرى من الثقوب قريب من قمة الثمرة وعندما تهتز هذه الثمار بفعل الرياح تتناثر البذور من هذه الثقوب وتعتبر ثمار نبات قسطل ـ الحصان horse chestnut علبة ذات ثلاثة مصاريع valved وتسقط هذه المصاريع التى تشبه الاصداف السميكة عند نضج الثمرة فتنطلق منها بذرة واحدة كبيرة .

ونبات الجوز البرازيلى Brazil nut (شكل 15 ـ 5) يحمل ثمارا متميزة من نوع العلبة ولها جدار سميك كما انها على شكل صدفة شبه كروية ، واحيانا يبلغ قطرها 6 بوصات وتزن 2 ـ 4 ارطال ، وتحتوى على 12 ـ 20 بذرة ، يكسو كل منها قشرة خشبية صلبة ويغطى الطرف العلوى للثمرة غلاف يشبه الغطاء ينفصل عنها عند نضجها ومع ذلك لا يسمح هذا الغطاء بسقوط البذور نظرا لصغر فتحته . ويستغرق الانبات حوالى ثلاثة اشهر بعدها تخرج البادرات من فتحة العلبة . ويبلغ التنافس بين البادرات على الضوء والمكان من الشدة بحيث لا يكتب الا لعدد قليل منها البقاء ثم تتحرر بعد ان تبلى صدفتها الخشبية .

والاكينة والحبة والجناحية والبندقة هى ثمار تختلف عن الثمار التى سبق ذكرها فى انها لا تتفتح عند نضجها فهى ثمار غير متفتحة . فالاكينة (شكل 13 ـ 6 أ) هى ثمرة صغيرة تحتوى على بذرة واحدة وتملأ البذرة بالتقريب تجويب الثمرة الا ان جدار البذرة لا يلتصق بجدار الثمرة . والخطأ الشائع هو اعتبار الاكينة الصغيرة الناضجة التى تتكون من مبيض سفلى او علوى بذرة.والاكينة اكثر انواع الثمار شيوعا فى عائلة نبات شقائق النعمان buttercup وعائلة نبات الحنطة السوداء buckwheat والعائلة المركبة وغيرها من العوائل النباتية . ومن الخطأ الشائع ايضا اعتبار بذور نباتات سن الاسد dande lion وعباد الشمس بذورا ، والواقع انها ثمار اكينية مثلها فى ذلك مثل بذور الشليك strawberry .

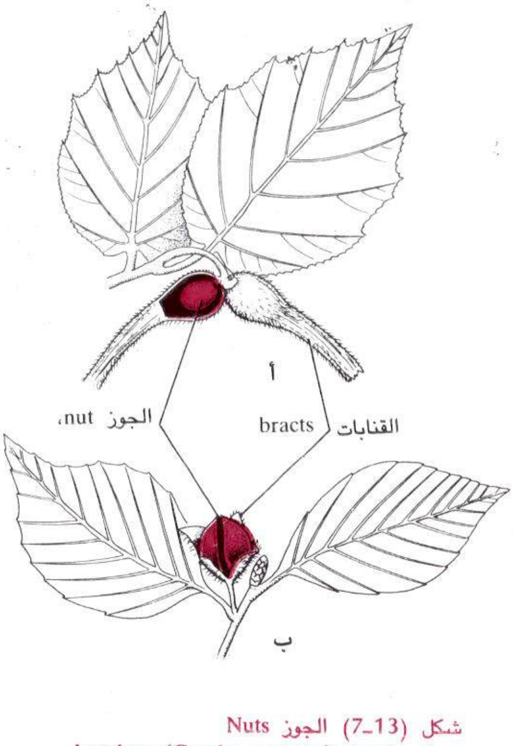


شكل (13ـ6) ثمار جافة بسيطة
أ ـ نبات الحوذان (buttercup (Ranunculus
ب ـ حبة شعير (grain of barley (Hordeum vulgare

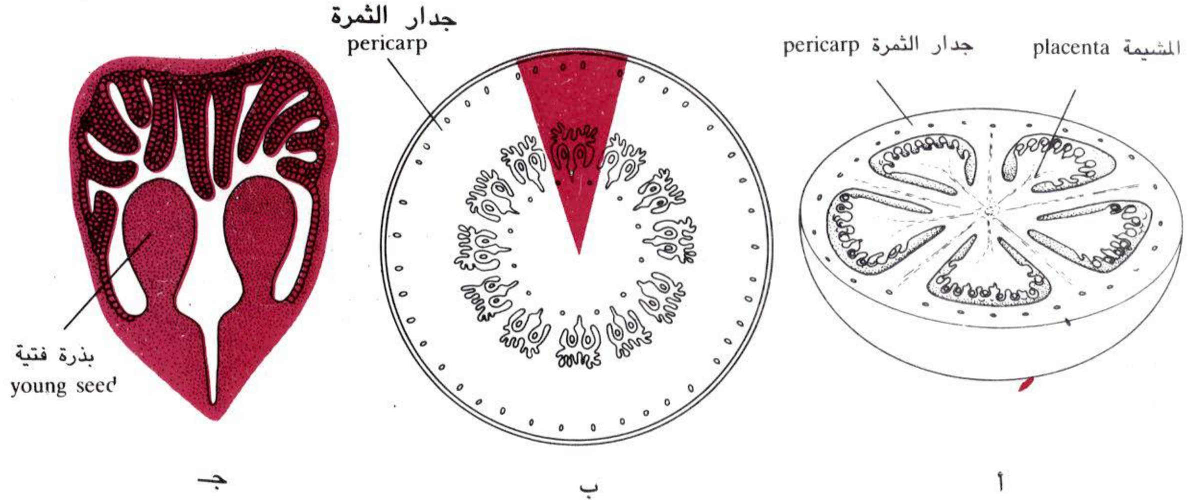
والحبة ثمرة بها بذرة واحدة مثلها فى ذلك مثل الاكينة ، وتختلف عنها فى ان جدار البذرة رقيق لا لون له غالبا ويلتحم مع جدار الثمرة . وبذلك تندمج البذرة والثمرة معا فى وحدة واحدة. والحبة (شكل 13 ـ 6 ب) هى الثمرة المميزة للعائلة النجيلية وثمار الذرة والقمح والشليم والشوفان والشعير والرز هى من الامثلة الشائعة للحبة وتخرج حبوب النباتات الثلاثة الاخرى كما تخرج حبوب معظم النجيليات من آلة الدراس ملتصقة بالقنابات ويلزم تقشيرها لتعرية الثمار .

والثمرة الجناحية او الثمرة التى على شكل مفتاح key fruit (شكل 13 ـ 18) هى من الثمار غير المتفتحة وتحتوى عادة على بذرة واحدة ولها اجنحة ويتكون الجناح من امتداد جدار المبيض ومن امثلتها ثمار اشجار الدردار elm والمران ash وشجرة الفردوس tree of heaven وشجرة القيقب . وشجرة القيقب تحمل الثمار الجناحية فى ازواج اما فى غيرها فتوجد هذه الثمار منفردة .

وتطلق كلمة بندقة على الثمار الكبيرة نوعا ما التى تحتوى على بذرة واحدة (أو بصفة استثنائية على بذرتين) ، يتصلب او يتحجر او يتخشب جدارها بعد نضجها . ومعظم هذه الثمار تتكون من مدقات ذات مبايض سفلية ومن امثلتها ثمار اشجار البندق (filbert (hazelnut والزان (شكل 13 ـ 7 أ ، ب) والبلوط والقسطل chestnut والجوز الامريكى hickory والجوز walnut ، وفى هذه الامثلة يصحب البندقة تراكيب تتكون من اوراق متحورة بدرجة كبيرة (قنابات) تخرج من قاعدة الزهرة او من قاعدة عدة ازهار متجمعة وفى البلوط تلتحم القنابات لتكوين تركيب يشبه القدح يحيط بثمرته المعروفة باسم acorn . ويعتبر هذا التركيب بصفة اساسية سائبا ومنفصلا عن هذه الثمرة التى على هيئة بندقة ولهذا يعتبر مجرد غلاف يحيط بقاعدة الثمرة . وفى ثمار البندق تلتحم القنابات لتكون كيسا مفككا ورقى الشكل حول البندقة . وفى الجوز الامركى والبيكان pecan والجوز الانجليزى English walnut والزان beech والقسطل chestnut تلتحم القنبات لحد ما بالبندقة ولا تنفصل عنها الا اذا نضجت الثمرة .



شكل (13ـ7) الجوز Nuts
أ ـ البندق (hazelnut (Corylus cornuta
ب ـ الزان (beech (Fagus grandifolia



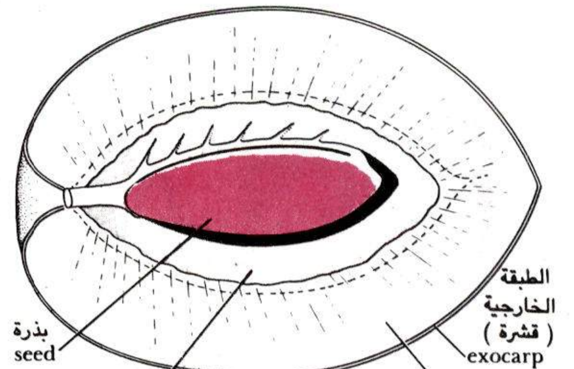
شكل (13ـ8) ثمار طرية بسيطة. اللبية The berry
أ ـ قطاع من ثمرة الطماطم اللبية tomato (Lycopersicum esculentum)
ب ـ مقطع من ثمرة حمضية citrus فتية. المساحة المظللة كربلة واحدة (فص).
جـ ـ داخل الكربلة مكبر ويوضح النموات عديدة الخلايا التى ستكون فيما بعد الاكياس العصيرية pulp sacs

وفى الجوز الاسود black walnut وبندق الدهن butternut ، تتشحم عصافة القنابات husk نوعا ما وتظل ملتحمة بالبندقة بصفة دائمة والتحام العصافة المتشحمة بالبندقة يشبه فى الظاهر الثمرة الحسلية .

وتوجد ثمار البندق فى الاسواق اما على هيئة ثمار او بذور تم فصلها عن جدار الثمرة فصارت لا تحتوى الا على جزء منها فقط وغالبا ما يطلق اصطلاح البندقة خطأ على البذرة الكبيرة للثمرة فمثلا لا تعتبر ثمرة البندق البرازيلى او ثمرة نبات الكاشيو cashew بندقة والجزء الذى يؤكل من اللوز هو بذرة لثمرة حسلية . والفول السودانى هو بذور لثمرة باقلاء غير متفتحة وثمرة نبات قسطل الحصان horse chestnut ليست بندقة وانما هى بذرة وحيدة لثمرة علبة .

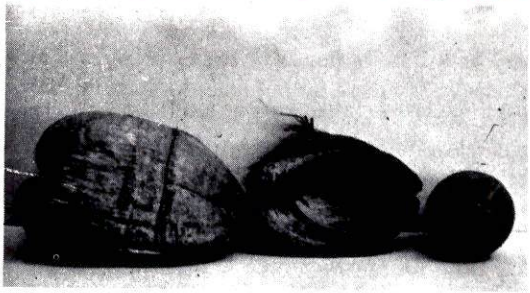
الثمار اللحمية البسيطة SIMPLE FLESHY FRUITS تصنيف الثمار توضع انواعها التى يتشحم كل او جزء من جدارها عند نضجها تحت قسم الثمار اللحمية المتشحمة والانواع المهمة التى تقع تحت هذا القسم هى الثمار اللبية berry والحسلية drupe واللبية الكاذبة false berry والتفاحية pome .

وتعتبر الثمرة اللبية الحقيقية ثمرة نضج جدار مبيضها مكونا جدارها الثمرى الذى يصبح شحميا او عصاريا قابل للاكل ، وهى تنشأ دائما من مبيض علوى وتشمل الثمار اللبية على حسب التعريف النباتى عددا اكبر مما يتعارف عليه الانسان العادى . فثمار البلح والطماطم والعنب والافوكادو avocado والباذنجان والكاكى persimmon والفلفل الاحمر red pepper ، تعتبر كلها ثمارا لبية ففى البلح يحيط الجدار الثمرى الذى يؤكل ببذرة واحدة مستطيلة وفى الطماطم (شكل 13 ـ 8 أ) تتشحم المشيمات وتتضخم بدرجة كبيرة وتحمل بذورا عديدة وتكون هذه البذور مع جدران الكرابل باطن الثمرة وثمار الموالح مثل البرتقال والليمون الهندى grapefruit ، والليم lime والليمون الحامض lemon تعتبر كلها ثمارا لبية متحورة بالرغم من ان جدارها الثمرى (الجلد او القشرة) ليست مقبولة للاكل عادة . وفى قطاعات ثمار الموالح الصغيرة تظهر نتوءات عديدة الخلايا تنمو من سطوح الكرابل (شكل 13 ـ 8 ب ، ج) . وتتضخم هذه النتوءات بدرجة كبيرة وتصبح عصيرية كيسية



شكل (13_9) ثمرة طرية بسيطة. قطاع طولى فى زيتونة Olive (Olea europ ea وهى من الثمار مفردة النواة (الحسلية) druoe

شكل (13 _ 10) جوز الهند coconut (Cocos nucifera)
(اليسار) الثمرة كاملة
(الوسط) قطاع يوضح الطبقة الخارجية لجدار الثمرة والطبقة الداخلية لجدار الثمرة endocarp
(اليمين) يوضح الطبقة الداخلية لجدار الثمرة وفيه فتحات الإنبات.

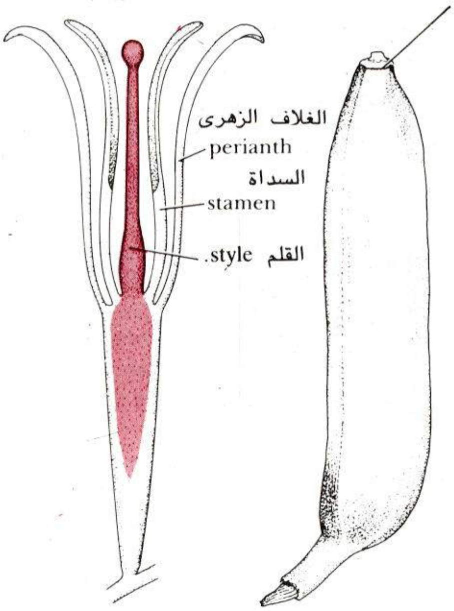


الشكل وهى التى تكون فى النهاية الجزء الذى يؤكل من الثمار الناضجة ويمكن بسهولة فصل باطن البرتقالة أو الليمون الهندى الى فصوص وتدية الشكل كل منها يمثل كربلة . وتمتلىء هذه الكرابل بهذه النتوءات عديدة الخلايا .

ويتركب جدار الحسلة من ثلاث طبقات هى : الطبقة الخارجية (وهى فى العادة جلدية رفيعة) exocarp والطبقة الوسطى mesocarp وهى اللب المتشحم ، والطبقة الداخلية endocarp وهى الحفرة او الغطاء الحجرى الذى يغلف البذرة وتطلق هذه الاصطلاحات ايضا على انواع اخرى من الثمار التى يتميز فيها جدارها وتنشأ معظم الحسلات من ازهار ذات مبايض علوية ، ومن امثلة الثمار الحسلية الزيتون (شكل 13 _ 9) والبرقوق plum ، والكرز cherry والخوخ والمشمش وثمار نبات اللوز almond وهو من النباتات قريبة الصلة بالخوخ ، تعتبر من الثمار الحسلية أيضا إلا أن الطبقتين الخارجية والداخلية للثمرة تعتبر جلدية فلا تؤكل ، كما أنهما ينزعان من الثمار بعد جمعها . والجزء الذى يؤكل من ثمار اللوز هو البذرة ، اما غطاؤها الخشبى الصلب فهو الطبقة الداخلية لجدار الثمرة ، وثمرة جوز الهند Coconut تعتبر هى الأخرى ثمرة من الثمار الحسلية (شكل 13 _ 10) ، وتتكون قشرتها من الطبقتين الخارجية والداخلية لجدار الثمرة . ولما كانت الطبقة الوسطى ليفية وليست متشحمة ، لذلك يطلق على الثمرة أحيانا اسم الحسلة الجافة أو الليفية . وثمار جوز الهند التى تباع فى مخازن الثمار تتكون عادة من بذرة واحدة كبيرة يغلفها الجدار الداخلى الخشبى المتصلب للثمرة . والألياف الجافة المرنة التى تكون معظم القشرة يطلق عليها تجاريا اسم الليف Coir . وتستغل هذه الالياف فى صناعة عدد من المنتجات مثل الحبال والمكانس ومواد التنجيد ، ويشاع صنع حصير منها يغطى الأبواب .

وكما اشير اليه من قبل فى معرض الكلام عن تعريف الثمرة ، فان هذا العضو لايشمل جدار المبيض الناضج (جدار الثمرة) فقط ، بل يشمل ايضا أجزاء أخرى من الزهرة ، أو تراكيب ذات صلة وثيقة بها فاذا كونت مثل هذا التراكيب جزءا هاما واضحا من الثمرة سميت ثمرة تابعة أو اضافية Accessory . ومعظم الثمار الاضافية من الثمار البسيطة التى نشأت من مبيض سفلى ، وعليه فانها تتكون من كل من جدار المبيض والانبوبة الزهرية التى تتركب من الاجزاء القاعدية من السبلات والبتلات والاسدية وتلتحم هذه الانبوبة مع جدار المبيض وتتشحم وتنضج معه . ومن امثلة الثمار الاضافية ثمار الخيار والقرع والشمام Maskmelon وغيرها من أنواع الفصيلة القرعية ومن أمثلتها أيضا التوت البرى Cranberry . والريباس Gooseberry والزبيب Currant والموز .

ولما كانت كل الثمرة تتشحم عند النضج ، كما فى الثمار اللبية الحقيقية ، فقد أطلق على مثل هذه الثمار الاضافية اسم الثمار اللبية الكاذبة False Berries . ويمكن التمييز بينها وبين الثمار اللبية الحقيقية ببقايا الزهرة التى توجد بصفة دائمة على قمة الثمرة فى الوضع المقابل للساق . ففى الطرف القمى لثمرة عنب الثعلب ، مثلا يوجد عدة سبلات يمكن رؤيتها بالعين المجردة . وتحمل ثمرة الموز فى قمتها ندبة كبيرة تبين موضع سقوط الأجزاء الزهرية (شكل 13 _ 11) .



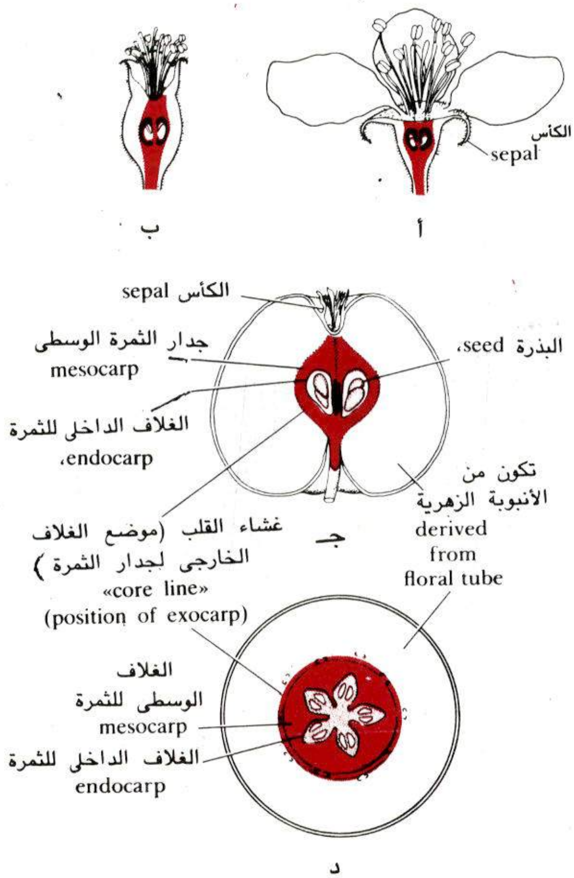
شكل (13ـ11) الموز banana (Musa sapientum) الزهرة الى (اليسار)
لاحظ أن المبيض سفلى inferior والثمرة إضافية

وتعتبر ثمار التفاح (شكل 13 ـ 12) والكمثرى من الثمار الاضافية ويطلق عليها Pomes ، ولهذه الثمار جدار ثمرى يتميز الى أجزاء تشبه لحد ما أجزاء الحسلة . فالجزء الخارجى (الطبقتان الخارجية والوسطى للجدار الثمرى) متشحم ، أما جدار الثمرة الداخلى فجلدى . وفى قطاع من ثمرة التفاح (شكل 13 ـ 12 جـ ،د) ، تظهر البذور فى المركز محاطة بالجدار الداخلى للثمرة وهو جلدى وتوجد مجموعة من الحزم الوعائية يطلق عليها احيانا «خط اللب» «Core Line» تحدد بالتقريب موضع الطبقة الوسطية لجدار الثمرة . أما النسيج الممتد من خط اللب الى خارج الثمرة فينشأ من الأنبوبة الزهرية . ومما يبين أن ثمرة التفاح هى من الثمار الاضافية ماتحمله من بقايا السبلاتْ والاسدية التى يمكن رؤيتها عادة فى قمة الثمرة الناضجة (شكل 13 ـ 12 جـ) .

الثمار المتجمعة Aggregate Fruits

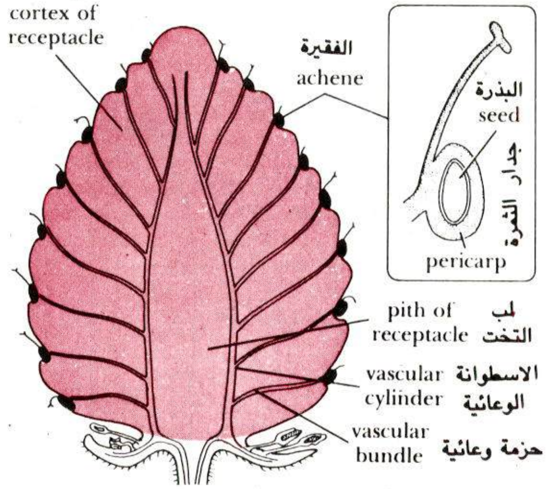
تتكون الثمرة المتجمعة من زهرة بها عدد من المدقات البسيطة . فثمرة نبات التوت الافرنجى Rasberry (شكل 13 ـ 13 على الشمال) تحمل حسلات صغيرة (حسيلات Drupelets) تلتصق ببعضها ، ولكنها تنفصل كوحدات مستقلة عن التخت الجاف الذى على شكل قبة وتشبه ثمرة التوت الشوكى Blackberry ثمرة الفرمبواز غير أن التخت يستطيل ويتشحم أيضا مكونا جزء من الثمرة . لذلك تعتبر ثمره من الثمار الاضافية كما تعتبر أيضا من الثمار المتجمعة .

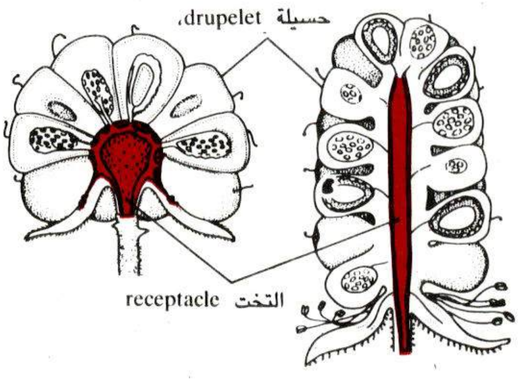
وثمرة نبات الشليك (الفراولة) من الثمار المتجمعة الاضافية . فالمدقات العديدة البسيطة للزهرة تكون اكينات صغيرة ترى على السطح الخارجى للثمرة ، ويشاع تسميتها بذورا . وتحتوى كل مدقة على بويضة واحدة تكون بذرة واحدة



شكل (13ـ12) نمو وتركيب التفاح apple (Pyrus malus) وهى ثمرة اضافية.

أ ـ زهرة التفاح. ب ـ زهرة قديمة بعد سقوط أوراق التويج. المناطق غير الملونة فى كل من أ، وب تمثل الأنبوب الزهرى. ج، ود قطاع طولى وعرضى فى الثمرة الناضجة.





شكل (13-13) الثمار المتجمعة Aggregate frutis
(اليسار) الرازبرى raspberry (Rubus strigosus)
(اليمين) التوت الشوكى blackberry (Rubus allegheniensis)

شكل (13 ـ 14) قطاع طولى فى ثمرة الشليك (الفراولة) strawberry وهى من الثمار المتجمعة. ان التخت اللحمى المنتظم (ملون) يكون الثمرة وهو الجزء الذى يؤكل.



أ ب جـ د

شكل (13 ـ 15) تاثير الاوكسين auxin على نموات الشليك (الفراولة) (fragaria strawberry
أ ـ نمو التخت ملاصقا تماما لمدقة ملقحة pollinated pistil
ب ـ ثلاثة مدقات لقحت
ج ،د ـ نزعت الفقيرات من التخت بعد تسعة ايام من التلقيح.
ج ـ عولجت الفقيرات بواسطة اللانولين وحده
د ـ عولجت الفقيرات بواسطة اللانولين المختلط بالاوكسين.

داخل الاكينة ، والجزء الاضافى الذى يؤكل من الثمرة هو التخت وهو متشحم ومتضخم بدرجة كبيرة . ويبين القطاع الطولى فى الثمرة (شكل 13 ـ 14) أن التخت هو ساق متحورة ، ففى المركز يوجد النخاع يفصله عن القشرة الاسطوانة الوعائية وتعمل الحزم الوعائية أو فروعها على توصيل النظام الوعائى للتخت بالاكينات التى على سطح الثمرة .

وقد سبق أن ذكرنا أن البذور النامية تنتج هرمونات تستحث جدار المبيض على النمو . فثمار الشليك التى تشبه البذور تنتج هرمونات تحث التخت على النمو ، وقد وضح ذلك

بعدة تجارب مثيرة للاهتمام . ففى إحداها تم نزع جميع الاكينات من تخت غير ناضج ، وذلك على فترة بلغت أطوالها 21 يوما بعد عملية التلقيح . فلم يزد النمو فى أى تخت منها . وفى تجربة أخرى وضعت حبوب لقاح على أحد المدقات فقط دون الأخرى فلوحظ تضخم كبير لانسجة التخت المتاخمة لها مباشرة . وبالمثل فان تلقيح ثلاث مدقات يعقبه نمو ثلاث مناطق (شكل 13 ـ 15 أ،ب) . وفى تجربة ثالثة نزعت كل الاكينات من تخت ثمرة نامية بعد تسعة أيام من التلقيح ، ثم غطيت تخوت بعض الثمار بعجينة اللانولين Lanolin (دهن وبرى) التى تحتوى على هرمون نمو صناعى، وعوملت التخوت الأخرى بعجينة اللانولين فقط ، فلم يزد نمو التخوت التى عوملت بعجينة اللانولين فى حين أن الثمار التى عوملت بعجينة من اللانولين التى تحتوى على الاوكسين تنضج بصفة طبيعية (شكل 13 ـ 15 جـ ،د) ومن هذه التجارب وغيرها تأكد بأدلة قاطعة أن الاكينات تنتج هرمونات تلزم لنمو التخت .

الثمار المركبة Multiple Fruits

لاتتكون الثمرة المركبة من زهرة واحدة بل من مجموعة من الازهار (نورة) Inflorescence التى تتجمع بجوار بعضها ، وكل زهرة من الأزهار تكون ثمرة واحدة وتظل هذه الثمار بجوار بعضها عند النضج مكونة كتلة واحدة .

وخير مثال للثمار المركبة هو ثمرة نبات الاناناس Pine Apple (شكل 11 ـ 8) . فالأزهار العديدة (100 ـ 200) الجالسة تنتج ثمارا لابذرية ، وتتصل هذه الثمار بالمحور الطويل للنورة ، الذى يحمل أوراقاً فى قمته . وتقع كل زهرة فى ابط قنابة أسفلها سميك متشحم وقمتها مستدقة رفيعة ورقية . وتلتحم الأزهار مع بعضها ومع قناباتها ، كما تنضج كلها معا وكل وحدة من الوحدات التى تبدو على سطح الثمرة الناضجة تمثل زهرة واحدة وقنابتها . وحيث إن المبيض سفلى فكل وحدة من هذه الوحدات تعتبر ثمرة اضافية .

والأمثلة الأخرى للثمار المركبة هى ثمار التوت Mulberry وثمرة نبات الرارنج (الشفشى) Osage Orange (Maclura Pomifera) وثمرة الخبز Bread Fruit (شكل 13 ـ 16) والتين والجزء الذى يؤكل من التين هو المحور الناضج للثمرة ، وهو مجوف ويغلف ثمارا عديدة صغيرة جدا وهى الاكينات التى تكونت كل منها من زهرة واحدة مؤنثة .

الثمار والخضروات .Fruits and Vegetables

يظلل الشك استعمال الاصطلاحين الثمرة Fruit والخضرة Vegetalle فكثير من الثمار مثل الطماطم والقرع والخيار والذرة والباذنجان يشاع تسميتها خضروات اما من الوجهة النباتية فانها تعتبر ثمارا ويمكن تمييزها عن الخضروات اذا استوعبنا تعريف الثمرة . فالثمرة دائما تنشأ من زهرة ، وتتكون بصفة دائمة من مبيض واحد على الاقل ، قد يلتحم بغيره من الأجزاء الزهرية أو التراكيب التى تصاحب الزهرة . وإن أى جزء يؤكل من النبات لا ينطبق عليه هذا التعريف للزهرة يلزم تصنيفه ضمن الخضر .

والرأى الشائع بان الثمرة شىء يؤكل أو يستعمل كتحلية رأى لايعتد به من الوجهة النباتية . كما أنه لايعتد أيضا بما هو معروف من أن بعض الثمار تطبخ الخضروات . ومع أن كثيرا من الثمار يشاع اعتبارها خضرا كذلك تعد بعض الخضر ثمارا . فأحد الخضر الذى يعد كثمرة هو الراوند Rhubarb وحيث انه الجزء الذى يؤكل منه هو عنق الورقة ، فلا يمكن اعتباره من الوجهة النباتية من الثمار .



شكل (13 ـ 16) .شجرة الخبز (جاكيه) bread fruit (Artocarpus communis)

وهى ثمرة مركبة . توضح الصورة ثمرة فتية وزهرة تذكير . تزرع هذه الشجرة فى كل المناطق الاستوائية تقريبا وتزن الثمرة الناضجة من 450 جرام الى اربعة كيلوات ونصف تقريبا.

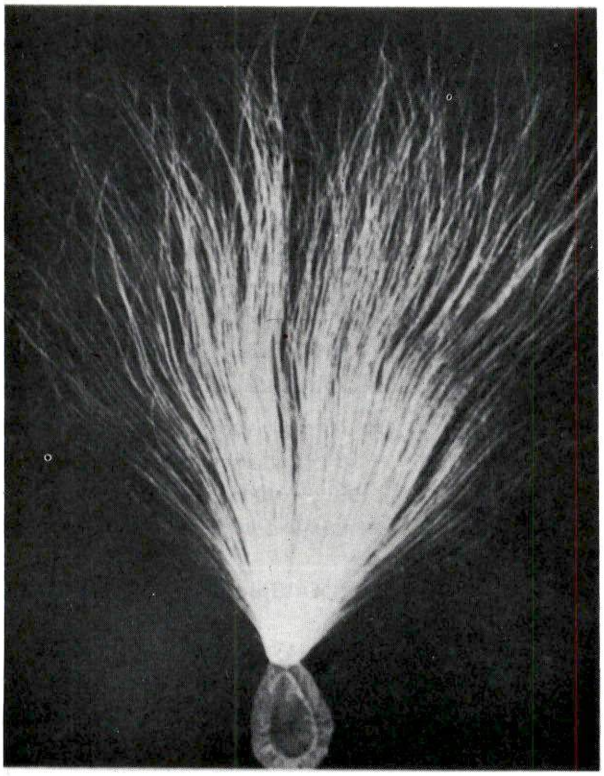
انتشار البذور والثمار : Dispersal of Seeds and Fruits

أثناء نمو البذرة يبدأ تكوين جيل جديد داخلها هو الجنين ، وسرعان مايتوقف نمو الجنين ، ولذلك يعتبر نموه نموا محدودا . ثم تنفصل البذرة عن النبات الأم وتنتشر ، ويعقب عملية الانتشار عملية اخيرة وهى عملية الانبات التى تتم عادة بعد مضى فترة زمنية . وأثناء هذه الفترة تقاوم البذرة أقصى ماتتعرض له من حرارة وبرودة وجفاف .

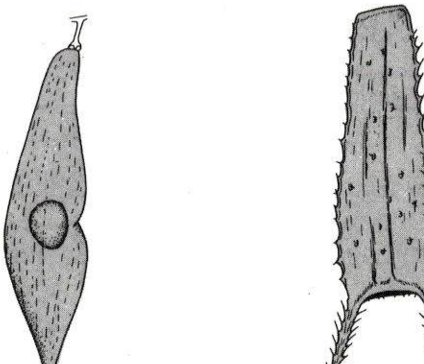
وقد يكون من الصواب اعتبار البذرة العضو الوحيد فى كاسيات البذور الذى انتشر منها منذ نشأتها الاولى ، وينطبق ذلك حاليا على كثير من الأنواع . أما فى الأنواع الأخرى فإن البذرة تستقر داخل الثمرة غير المتفتحة فتنتشر البذرة والثمرة كوحدة واحدة . وتوجد أمثلة على ذلك فى عدد من الثمار مثل الاكينة والحبة والجناحية والبندقة . وقد تشمل وحدة الانتشار Dispersal Unit تراكيب زهرية أخرى مثل الكأس والقنابات . وفضلا عن ذلك ففى بعض النباتات قد تنتشر النورة كلها أو بعض منها . ويحسن استعمال اصطلاح وحدة الانتشار للدلالة على أى جزء أو عضو من النبات ينفصل عنه ويشترك فى عملية الانتشار . ويطلق هذا الاصطلاح أيضا على قطع صغيرة من جسم النبات الخضرى التى تكون افرادا جديدة .

والعوامل التى تتعلق بالانتشار تشمل الرياح والماء والحيوانات مثل الطيور والحشرات والثدييات ومنها الانسان ولبذور وثمار أعداد كبيرة من النباتات تراكيب متحورة لها قيمتها فى انتشار الانواع الى مسافات بعيدة أحيانا ، وقد دون الكثير عن هذا الموضوع .

ويمكن لبعض البذور أن تنتشر بفعل الرياح لانها صغيرة وخفيفة فبذور الاراكيد orchds صغيرة جدا ، بحيث إن عدد ما يوجد فى علبة واحدة من ثمارها تبعا لنوعها ، يتراوح بين ألف ومليون بذرة . وفى الوحدات الانتشارية الأخرى (البذور وبعض الثمار) يتكون ريش أو خصل من الشعر لها فاعليتها فى انتشارها بفعل الرياح . وهذه التراكيب إما نتواءت من غطاء البذرة ، كما فى نباتات البردى (شكل 13 ـ 17) والعقيض Willowherb (Epilobium) ، أو أجزاء زهرية متحورة كما فى نباتات سن الاسد والحسك thistle . ومن الشائع وجود بذرة مجنحة (كما فى نبات الكتلبة Catalpa) أو ثمار مجنحة (شكل 13 ـ 18) . وقد يحدث الانتشار



شكل (13 ـ 17) نمو شعرى خارجى على كساء (غلاف) بذرة لنبات الحشيشة اللبنية milkweed ويساعد على نشر البذور بفعل الرياح.



شكل (13 ـ 18) توزيع (انتشار) الثمار (اليسار) ثمرة مجنحة Samara لشجرة الفردوس (Ailanthus) heaven tree (اليمين) ثمرة شوكية spiny للنبات القرادى Beggar – ticks (bidens)

بالرياح أيضا ، كما فى النباتات المتدحرجة tumbleweed ، حيث تقتلع الرياح النبات كله عند نضجه ويتدحرج على الأرض ، أثناء هذه الحركة تنزع النورات منه . ومن أمثلة هذه النباتات نبات الحسك الروسى (Salsola) الذى ينتشر عبر السهول الجافة فى أجزاء كثيرة من الكرة الارضية .

وفعل الماء على الوحدات الانتشارية لا يقل أهمية غالبا عن فعل الرياح ، فالبذور والثمار ، سواء أكانت كبيرة أو صغيرة تحمل إلى مسافات قصيرة اذا ما ابتلت بفعل مياه الامطار أو قد تحمل إلى مسافات طويلة عبر مجارى الانهار والفيضانات والتحورات المفيدة للانتشار بالماء تشمل المثانات الهوائية والثمار الاسفنجية الخفيفة وأغطية البذور غير المنفذة نسبيا . فوحدات الانتشار لثمار نبات جوز الهند وغيره من النباتات قد انتشرت عبر مسافات كبيرة بفعل تيارات المحيط .

ويتم الانتشار بالحيوانات بعدة طرق مختلفة ، تؤكل الثمار ولا تتأثر حيويتها إذا مرت فى جسم حيوان ثديى أو طير من الطيور . ويتبين أن بذور عدد من أنواع كاسيات البذور تحتفظ بحيويتها فى القنوات الهضمية لبعض الطيور المهاجرة حتى بعد طيرانها لمسافة تقدر بعدة الوف من الاميال . وكثير من الثمار لها خطاطيف أو سفايات أو أشواك تلتصق بجلد الحيوان أو ملابس الانسان . وللانسان باختلاطه وانتقاله من مكان الى مكان ، دورا هاما فى توزيع النباتات . ومعظم الاعشاب قد انتقلت من مسافات بعيدة بوسائل الانتقال المختلفة ، وغالبا ما تختلط بذور المحاصيل ببذور الاعشاب وقد يحكم محللو البذور فى مختبرات البذور التابعة للحكومة أو الولايات بعدم صلاحية شحنات بذور المحاصيل التى تحتوى على بذور أعشاب ضارة .

وأخيرا فإن بعض النباتات لها آليات ميكانيكية تقذف بالوحدات الانتشارية وهى غالبا ما تكون بذورا بعيدا عن النبات الأم . ويتم هذا النظام الآلى فى بعض الأنواع بتشرب ثمارها لبخار الماء الموجود فى الهواء الجوى . ففى عدد من الثمار البقولية تلتوى المدقة البسيطة عند جفافها ثم تفتح بقوة فتتبعثر البذور . وفى النباتات الاخرى تقذف البذور من الثمرة بشدة نتيجة لتغيرات فجائية فى الضغط الداخلى . ففى نبات الدبق القزمى (Arceuthobium) وجد أن البذرة الواحدة (تبلغ حوالى 1/8 بوصة) تقذف من الثمرة لمسافة تقرب من 50 قدما .

ويلزم الاشارة الى أن وجود التحورات التى تساعد على عملية الانتشار فى أى نوع معين من النباتات لا يعنى بالضرورة أن هذا النوع شائع واسع الانتشار فكثير من الأنواع التى يبدو أن لها آليات فعالة للانتشار لا توجد إلا فى أماكن محدودة فالانتشار لا يصبح فعالا الا إذا وجد النبات فى بيئة يتمكن فيها من النمو والتكاثر . وكثير من النباتات التى تنقل الى مناطق بعيدة لا تتمكن من منافسة النباتات المحلية نظرا لظروف التربة والطقس الجديدة عليها ، فأوسع الاعشاب انتشارا وأكثرها شيوعا لا يتحتم أنها هى التى تحتوى على أفضل آليات الانتشار بل إنها هى التى تتمكن من البقاء تحت ضروب كثيرة من البيئات مثل الاراضى الجدباء والمناطق غير المستقرة والحقول المزروعة حيث تتفوق على المحاصيل الحقلية فى تنافسها معها . ومع أن كل مزايا عملية الانتشار غير واضحة تماما ، الا أن بعض هذه المزايا واضح كل الوضوح فلو تجمعت البذور كلها بجوار النبات الام مباشرة فإن البادرات الناتجة تتنافس فيما بينها ، كما أنها تتنافس أيضا مع النبات الأم وذلك للحصول على الضوء والماء والاملاح المعدنية أما البذور التى تنتشر على بعد مسافات من النبات الأم فإنها قد تقع وسط أكثر ملاءمة لبقائها وتكاثرها .

انبات البذور Seed Germination

لن تكتمل قصة البذرة بأنباتها ، واستقرار بادرتها، وتبدأ عملية الانبات بتجدد نمو الجنين وتنتهى بظهور الجذير وخروجه من غطاء البذرة . وتعنى كلمة الاستقرار establishment معانى مختلفة ، والمقصود بها هنا هى الفترة التى تبدأ بنهاية الانبات وتنتهى بتحرر البادرة وعدم ارتباطها بالمواد المدخرة فى البذرة ، وتعتبر كل من فترتى الانبات والاستقرار من الفترات الحرجة فى حياة النبات لانه فى هذه المراحل من دورة حياة أى نوع يفقد هذا النوع أكبر عدد من أفراده ، فالمخاطر البيئية هى من الكثرة بحيث لا يكتب لبعض النباتات بالبقاء كأنواع إلا اذا تم انتاج البذور باعداد كبيرة فقد تفقد البذور والبادرات وتأكلها الحشرات أو

الطيور أو القوارض أو غيرها من الثدييات ، وقد تعجز البادرات عن النمو بسبب النقص فى الماء أو الضوء أو بسبب درجات الحرارة غير المناسبة .

والعمق الذى تطمر فيه البذرة فى التربة ، سواء أكان ذلك عن طريق الصدفة أو بغرسها يعتبر أحد العوامل الهامة فى عملية الانبات فقد لا تجد البذور التى على سطح التربة ما يكفيها من الماء لكى يكتمل إنباتها . وقد تعجز البذور التى تطمر بعمق عن الإنبات أو قد ينفذ ما بها من مواد مختزنة قبل اختراقها التربة ووصولها الى الضوء ونظرا لوجود كميات وفيرة من الغذاء فى البذور الكبيرة الحجم فانها تغرس على مسافة من المسافة التى تغرس عندها البذور الصغيرة الحجم ، كما أن هذه المسافة العميقة التى تغرس عندها تتميز عن المسافة الضحلة بانتظام رطوبتها .

والنواحى المختلفة لعملية الانبات تتناول قضايا فى مجالات البستنة والزراعة والغابات وتربية النبات والمحافظة على البرئية ومقاومة الحشائش ومنع تآكل التربة وتفتتها .

العوامل البيئية والانبات Environmental Factors and Germination

لابد من وجود ظروف بيئية معينة تتم بها عملية إنبات البذور ، وهذه الظروف هى :

(1) الرطوبة ، (2) الاوكسجين ، (3) درجة الحرارة المناسبة ، وبالاضافة الى ذلك فان الضوء يساعد على انبات بذور كثيرمن الانواع بينما يعوق أو يمنع إنبات بذور الانواع الاخرى ومع ذلك يتغير تأثير الضوء بفعل العوامل الاخرى ، خصوصا درجة الحرارة ،

وعند نضج معظم بذور النباتات يقل محتواها المائى ، ولا يحدث الانبات إلا إذا تشربت البذور الماء . ونتيجة لذلك تنتفخ البذور إذا وضعت فى حيز مغلق نتج من هذا الانتفاخ ضغط جسيم .

وتختلف احتياجات البذور لغاز الاوكسجين باختلاف الانواع ولكن غالبا ما يعتبر هذا الغاز ضروريا لعملية الانبات وتؤثر كمية الماء الموجودة فى التربة على تركيز غاز الاوكسجين الموجود بها . فالبذور تعجز عن الانبات فى التربة الغدقة ، وبعض البذور وبخاصة الحشائش تظل سابتة لسنوات عديدة .. طالما كانت الظروف غير ملائمة لنموها ، كما يحدث ذلك إذا ما طمرت هذه البذور فى التربة وتنبت هذه البذور اذا ما أعيدت الى السطح بفعل العمليات الزراعية وذلك بسبب تحسن التهوية أو أحيانا بسبب تأثير الضوء عليها .

وتختلف البذور اختلافا كبيرا عند انباتها وذلك بالنسبة لمتطلباتها من درجات الحرارة. فكثير منها ينبت فى مجال فسيح من درجات الحرارة ، ويقرب الحد الادنى للانبات من درجة الصفر المئوى 0مْ (32 فْ) أما الحد الأقصى فيبلغ 54 مْ (113 فْ) إلا أن النسبة المئوية للانبات تهبط اذا ما انخفضت أو ارتفعت درجات الحرارة كثيرا وتتراوح درجات الحرارة المثلى لكثير من نباتات المحاصيل 20 مْ و 30 مْ (68 الى 86 فْ) ، إلا أن أنواعا معينة من البذور مثل البازلاء Peas والخس lettuce والفجل radish والشعير والقمح تنبت بسهولة اذا بلغت درجة الحرارة 10 مْ (50 فْ) ، وعليه فإنه يمكن زراعتها فى اوائل الربيع. فى العادة فان المحاصيل التى تحتاج الى طقس بارد يمكن بل يلزم زراعتها مبكرا أما الشوفان والنجيليات القوية للمسطحات والخضروات المبكرة فإنه يلزم زراعتها بمجرد صلاحية التربة للعمل ، أما الذرة والبقوليات فيلزم زراعتها بعد بدء سقوط اوراق الاشجار . ولا تزرع فاصوليا ليما lima beans والقرع والرقى إلا بعد دفء التربة وتفتح أزهار كثير من النباتات المعمرة التى تم زراعتها مبكرا .

عملية الانبات : The Germination Process

يتبع امتصاص البذور للماء فى ظل الظروف الملائمة عدد من النشاطات إذ يتميأ rehydration البرتوبلازم من جديد مع بدء تنشط انزيماته وسرعان ما يهضم النشاء الى سكر وتتحول الدهنيات الى مركبات قابلة للذوبان ، كما تتحول البروتينات المخزونة الى أحماض أمينية ويسمح تواجد هذه **المواد بتحرير كمية من الطاقة عن طريق التنفس، ومن ثم يحدث انتقال الغذاء الى الجنين الذى سرعان مايبدأ بالنمو.**

علينا أن نذكر أن تنفس البذرة الجافة (أى فى فترة السبات dormancy) يحدث ولكن بمعدلات شديدة الضآلة.

بل وربما يكون ممكنا أن يتوقف التنفس تماما فى البذور الجافة، بينما لاتفقد هذه قابليتها للاستنبات. إن ترطيب البذور بالماء يسمح لها بالتنفس، وبمعدلات تزيد بسرعة ويتضاعف معدل التنفس أضعافا كثيرة قبيل بدء الإنبات. ويعتبر الأثر الكبير الذى يحدثه التميوء على معدل التنفس سببا كبيرا للتأكيد على تخزين الحبوب فى جو ذى نسبة رطوبة منخفضة بقدر مايمكن. نتيجة لازدياد نشاط الانزيمات ولتوفير الغذاء والطاقة فى البذرة المستنبتة تبدأ استطالة الخلايا فى الجنين ومن ثم يأخذ النبات الجديد فى التطور معتمدا على مايضاف اليه من غذاء من الخارج (الاسمدة).

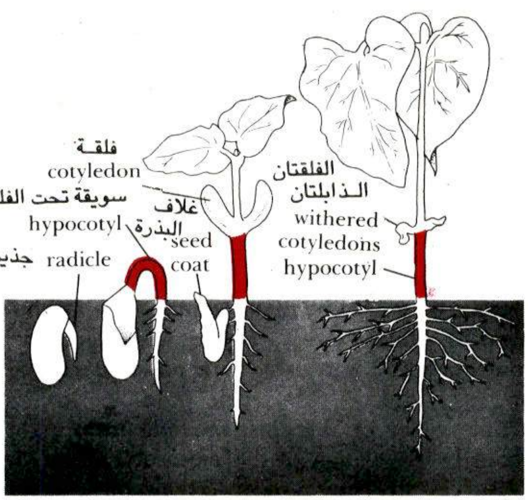
طرق الانبات: Methods of Germination

فى جميع البذور تقريبا يعتبر الجذير radicle أو الجذر الجنينى تركيب يبرز من غطاء البذرة. ويخرج الجذير عن طريق النقير micropyle ثم ينمو ليكون الجذر الابتدائى. وهذا بدوره يكون الشعيرات الجذرية ومايتبعها من جذور ثانوية وجانبية. ونمو الجذر بعض الشىء قبل نمو الاجزاء يمكن النبات الصغير من التشبث بالتربة وامتصاص الماء. وتختلف الانواع المختلفة من النباتات فى الوسائل التى تبرز فيها بادراتها فوق سطح التربة ويتم تكوينها.

إنبات الفاصولياء والبازلاء (من ذوات الفلقتين) - *Germination of the bean and pea (dicots)*

لايوجد اندوسبرم فى بذور نباتى الفاصولياء والبازلاء، وتتغذى البادرات على المواد الغذائية المختزنة فى الفلقات cotyledons. وبعد بروز الجذير فى الفاصوليا تستطيل السويقة تحت الفلقية hypocotyl وتتقوس (شكل 13ـ19). وقمة هذا القوس هى أول مايظهر من البادرة فوق سطح التربة ثم تستقيم تحت السويقة الفلقية أثناء نموها وتحمل الفلقتين الى أعلى لتتعرض للهواء الجوى. حينئذ تبدأ الرويشة التى توجد بين الفلقتين، فى النمو وتكون الاوراق الحقيقية، كما تكون هذا الجزء من الساق الذى يوجد اعلى الفلقتين.

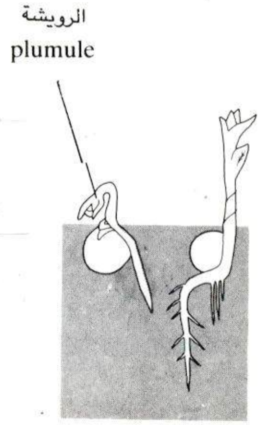
وفى بادرات نبات الفاصوليا لاتندفع الفلقات والرويشة الى أعلى لتشق طريقها خلال التربة وتتمزق بل تسحب من أعلى



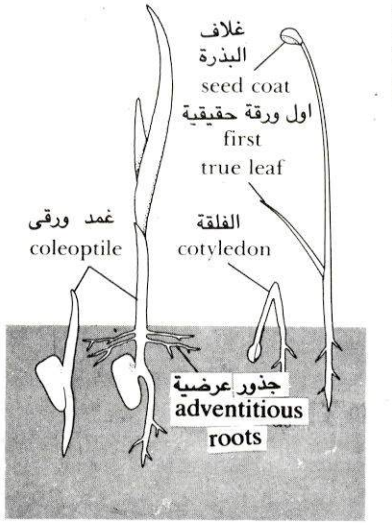
شكل (13 ـ 19) مراحل انبات الفاصوليا الخضراء garden bean

نتيجة لنمو السويقة تحت الفلقية. وعليه فان ذلك يعتبر إجراءاً وقائيا حتى لايصيب قمة الساق أى تلف. ويعتبر هذا الاجراء وغيره من الآليات الميكانيكية التى تحمى قمة الساق اجراءا شائعا ومألوفا أثناء عملية إنبات البذرة. ثم يتم بالتدريج هضم الغذاء المختزن فى الفلقات، وينقل الى مناطق اخرى من البادرة سريعة النمو. وتخضر الفلقات الشحمية للفاصوليا عند تعرضها للضوء، الا أن كمية الغذاء التى تخلقها لايعتد بها. وعندما يستهلك ماتختزنه من غذاء تذبل الفلقات ثم تسقط فى الحال. والنباتات الاخرى التى تحمل فيها الفلقات فوق سطح التربة، عند الانبات هى الفجل والقرع وعباد الشمس وفول الصويا والبرسيم والقطن والمران والدردار والقيقب. ويقل سمك الفلقات فى بعض هذه النباتات كما يتسع سطحها عن مثيلاتها فى نبات الفاصوليا، وقد تؤدى هذه الفلقات وظيفة الاوراق بعض الوقت بالرغم من أنها لاتشبه الاوراق الحقيقية التى تتكون مؤخرا.

وأثناء إنبات نبات البازلاء لاتستطيل السويقة تحت الفلقية وتظل الفلقات ومعها جدار البذرة تحت سطح التربة (شكل 13ـ20) وتنتج الرويشة ساقا تظل تنمو وتتقوس حتى تصل الى سطح التربة. حينئذ تستقيم الرويشة وتسحب من



(شكل (١٣ - 20)
انبات البازلا pea



شكل (13 ـ 21)
انبات بذور الذرة
(الى اليسار) البصل
الى (اليمين) غمد
الرويشة

الارض وتحمل الى أعلى واخيرا تتحلل الفلقات فى التربة بعد استهلاك البادرة للغذاء المختزن.

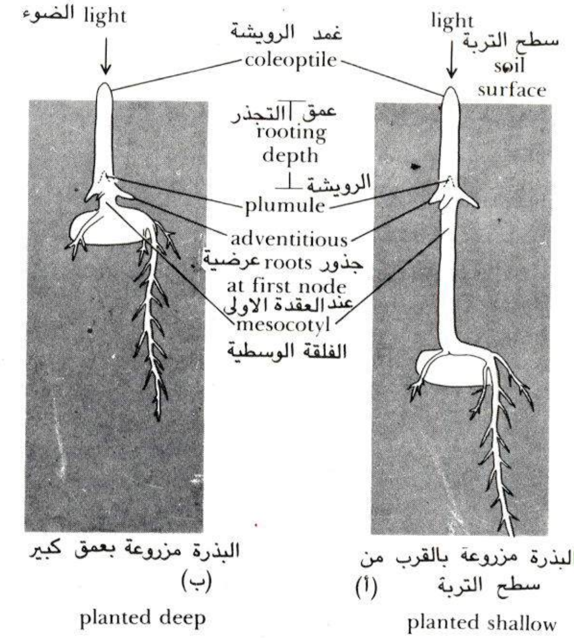
إنبات الذرة والبصل وجوز الهند من ذوات الفلقة الواحدة: *Germination of corn, onion, and coconut (monocots)*

توجد معظم المواد المختزنة لهذه البذور فى الاندوسبرم، واهم مايحدث من نشاط فى الفلقة هو هضم ونقل الغذاء المختزن الى الاجزاء النامية للبادرة. وفى إنبات الذرة وغيرها من الانواع التابعة للعائلة النجيلية تظل الحبة وماتحويه من قصعة scutellum وبقايا الاندوسبرم تحت سطح التربة (شكل 13ـ21). ويغطى الغلاف الورقى (غمد الرويشة) coleoptile الذى يعتبر جزءا من الفلقة (شكل 13ـ28ب) الرويشة ويقوم بحمايتها بينما يندفع هو الى أعلى شاقا طريقه خلال التربة.

وقد لايستمر النظام الجذرى الابتدائى الذى يتكون من الجذير فى نموه فيظل قصيرا ويضاف الى هذا المجموع الجذرى الابتدائى المجموع الجذرى الثانوى. وهو أقوى منه ويعتبر فى منشأه من الجذور العرضية، حيث يتكون من العقد السفلية التى على الساق. وتندفع هذه العقد الى أعلى شاقة طريقها خلال التربة فى عملية الإنبات. فإذا برزت الجذور الثانوية أثناء تحرك العقد الى أعلى فمن الواضح أنها لن تسلم من التمزق او الابادة. وفضلا عن ذلك فإن الاوراق الصغيرة لنبات الذرة لن تتمكن من الاندفاع خلال التربة إلا إذا ظلت مغطاة بالغلاف الورقى. ومن أعظم الآليات إثارة تلك الآلية التى تتحكم وتربط بين هذه التكوينات المختلفة.

وباستطالة الفلقة الوسطية mesocotyl (شكل 13ـ22ب) تبزغ بادرة الذرة وتظهر فوق سطح التربة. ويعتبر هذا التركيب منطقة تضم السويقة تحت الفلقية والانسجة الفلقية التى كانت فى الاصل تصل القصعة بالغلاف الورقى (شكل 12ـ28ب). ويتوقف طول الفلقة الوسطية على مايصلها من أحد هرمونات النمو الطليقة التى تتحرك بصفة طبيعية الى أسفل من منطقة تكوينها فى قمة الغلاف الورقى. ويصل تركيز الهرمون الى المستوى الذى يعمل فيه على تنشيط نمو الفلقة الوسطية، اما بالنسبة لكل من الرويشة والجذور الثانوية فان هذا التركيز يفوق احتياجتهما منه فيعمل على إعاقة نموهما.

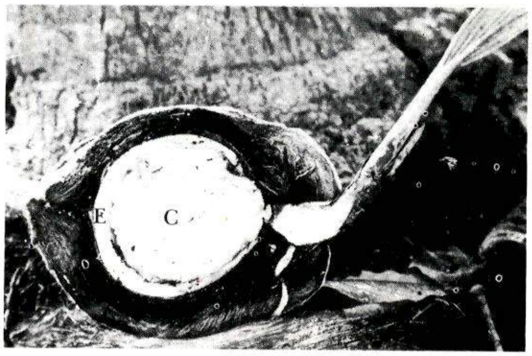
وعندما تشق قمة الغلاف الورقى طريقها وتصل الى سطح التربة ينخفض بشدة معدل ماتنتجه هذه القمة من اوكسينات بفعل الضوء. حينئذ تنعكس عمليات النمو. فيتوقف نمو الفلقة الوسطية بينما تبرز الريشة من الغلاف الورقى، وتنمو الجذور الثانوية من العقدة الاولى (شكل 13ـ22 أ ـ ب). وعلى ذلك وبالرغم من الاختلافات فى العمق



شكل (13 ـ 22) ظهور او بزوغ نبات الذرة المزروع عميقا فى التربة وكذلك النجيليات الاخرى يعتمد على استطالة الفلقة الوسطية، تتوقف هذه الاستطالة عندما يسقط الضوء على طرف غمد الرويشة.

عند غرس الحبة، الا أن الجذور العرضية الاولى تتكون عند نفس المسافة تقريبا من سطح التربة. وبينما يستمر النبات فى نموه تتكون الجذور الثانوية الاخرى على عقد الساق العلوية وعندما تغرس الحبة فى التربة غرسا ضحلا يسرع الغلاف الورقى فى بلوغه سطح التربة، بحيث لاتستطيل الفلقة الوسطية الا استطالة محدودة (شكل 13ـ22أ). وفى الغرس العميق يحمى الغلاف الورقى الاوراق الصغيرة الى أن يبلغ هذا الغلاف أسطح التربة ويتعرض للضوء (شكل 13ـ22ب).

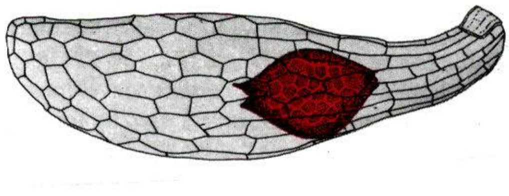
وتختلف بادرة البصل فى نموها وتكوينها عن بادرة الذرة وذلك فى عدة خصائص فبعد بروز الجذير تبزغ الفلقة الوحيدة من البذرة ويزيد طولها وتتقوس فوق سطح التربة (شكل 13 ـ 21 على اليمين). وفى نفس الوقت الذى فيه تستقيم الفلقة يتم سحب البذرة من الارض وتحمل الى أعلى وتظل قمة الفلقة داخل الاندوسبرم الى أن يتم امتصاص كل



شكل (13 ـ 23) انبات جوز الهند coconut
(c) الفلقة cotyledon
(e) اندروسبرم (السويداء) endosperm

المواد الغذائية وبعدها يسقط غطاء البذرة. ولاتقوم الفلقة بوظيفتها كعضو امتصاص فقط، ولكنها تؤدى ايضا وظيفة الورقة وتصنيع الغذاء نظرا لكونها خضراء. واذا ماتقدم النمو خطوات اخرى تبدأ الرويشة ومكانها هو موضع الاتصال بين الفلقة وبين الجذير فى النمو الى أعلى وتشق طريقها خلال الفلقة التى تلتف حولها على شكل غمد.

ويوضح إنبات وتكوين البادرة فى جوز الهند حالة إخرى تتحور فيها الفلقة بدرجة قصوى لتقوم بوظيفتها كعضو امتصاص. فالجزء المتشحم من ثمرة جوز الهند هو الاندوسبرم لبذرة واحدة (شكل 13ـ23). وتحاط البذرة بصدفة صلبة (الطبقة الداخلية لجدار الثمرة) التى تعتبر جزءا من جدار المبيض الناضج، أمابقية المبيض فيتكون من قشرة ليفية. ويوجد فى أحد أطراف الصدفة ثلاث نقر دائرية ضحلة هى ثقوب الانبات، واحد هذه الثقوب هو الذى يعمل. وتحت هذا الثقب يوجد الجنين مطمورا فى الاندوسبرم. والجنين قصير على شكل مشجب وعند الانبات تخرج الاوراق والجذر من خلال الثقب مخترقة القشرة الليفية وتتجه اما ناحية الهواء او ناحية التربة وتكبر الفلقة الوحيدة داخل تجويف البذرة حيث تتسع اتساعاجسيميا مكونة كتلة على هيئة عجين تعمل على هضم الاندوسبرم، كما تعمل على نقل الغذاء الذائب الى البادرة النامية. وتستمر هذه العمليات طوال ثلاثة أو أربعة شهور الى أن يتم استهلاك الاندوسبرم وتستقر الجذور فى التربة كما تبرز الاوراق وتتعرض للهواء الجوى.

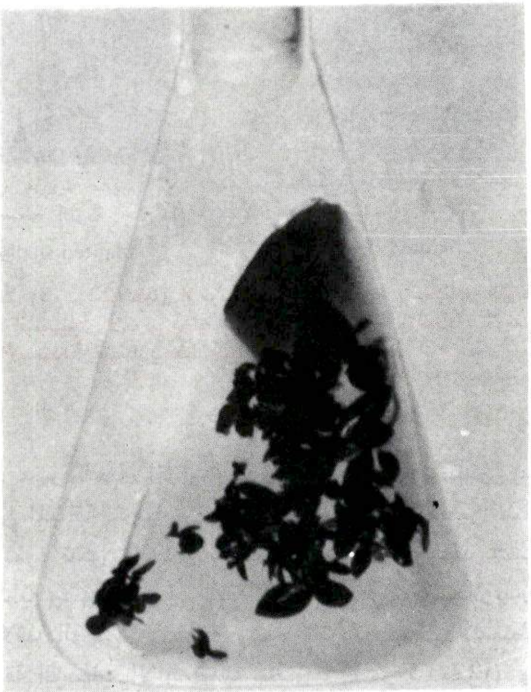


شكل (13 ـ 24) بذرة نبات نعال السيدة المبرقش. (Showy lady 's – slipper (Cypripedium reginae) ان الجنين غير المتمايز موجود بداخل غلاف البذرة الشفاف.

بذرة الاركيد: *The orchid seed*

مما يلفت النظر الاختلاف بين بذور الاراكيد orchids وبذور معظم الانواع الاخرى سواء فى التركيب او فى الشروط اللازمة للانبات فبذور الاركيد غاية فى الصغر، ولايوجد بها اندوسبرم. كما ان الجنين غير متمايز فلايوجد به فلقة او محور او جذير (شكل 13ـ24). والكمية الضئيلة للغذاء المختزن فى الجنين لاتسمح بنمو البادرة، ولايتم هذا النمو إلا بعد حصول البادرة على مايلزمها من غذاء وفيتامينات من خارج البذرة وفى الظروف الطبيعية، وعقب انتفاخ البذرة يصاب الجنين بفطر الجذر، (الفصل التاسع) الذى يحول المركبات الكربوهيدراتية والبروتينية غير الذائبة الموجودة فى التربة على شكل مواد عضوية الى مواد ذائبة وبهذه الوسيلة تحصل الفطريات على مايلزمها من غذاء بينما تحصل بذور الاراكيد النامية التى تم اصابتها داخليا بالفطر على غذائها بهضم الخيوط الفطرية، وعلى ذلك يمكن اعتبار النبات الوعائى متطفلا على الفطر، وتعتمد البادرات على الفطر الى ان تظهر الورقة الاولى وقد يستغرق ذلك عدة شهور او حتى اعواما بعد الانبات ومعظم الاراكيد ذاتية التغذية فى مراحلها الاخيرة من نموها، اما فى اطوارها الاولى فهى مغايرة التغذية.

ومن قبل كانت نباتات الاراكيد تجمع من الغابات الاستوائية وتباع باثمان باهظة، وقد قامت عدة محاولات لنمو البذور ذات اصناف منتخبة ومحسنة من الاراكيد على مواد السماد الحيوانى بعد حقنها بفطريات تم الحصول عليها من اراكيد استوائية، ولكن هذه المحاولات لم تكن فى العادة مرضية . ثم اكتشف ان هذه البذور تنمو بعد تطهيرها على آجار معقم يحتوى على سكر وعناصر معدنية، مثلها فى ذلك مثل البكتريا، وبعد فترة تتراوح بين عدة شهور وعام يبلغ نمو البادرات المعقمة قدرا يكفى لشتلها فى التربة لاتمام نموها (شكل 13 ـ 25) وفى تجارتهم يستغل مربو الاراكيد هذه الطريقة على نطاق واسع.



(شكل (13 ـ 25) بادرات نبات الاركيد orchid النامية على مستنبت غذائى . بذرت البذور على المستنبت وبعد ان نبتت امكن نقلها الى التربة.

سبات البذور . Dormancy of Seeds

فى مناطق الطقس المعتدل لاتنبت بذور معظم النباتات سواء البرية منها او المنزرعة بعد نضجها مباشرة، فهذه البذور تحتاج بعد نضجها الى فترة سبات dormancy،

تختلف فى طولها تبعا للنوع من بضعة اسابيع او شهور الى عدة سنين وتنبت بذور بعض الانواع بسهولة عقب فترة تخزينها فى مكان جاف، او فى الربيع عقب غرسها فى الخريف، اما بذور الانواع الاخرى فقد تنبت بطريقة غير منتظمة وذلك على فترات تتراوح بين سنتين وعدة سنوات، ومن المرغوب فيه غالبا، بالنسبة لتكاثر النباتات تقصير فترات سبات البذور، ولتحقيق ذلك اتبعت عدة طرق تعتمد كلها على تعليل ظاهرة السبات ومعرفة اسبابها وترجع ظاهرة السبات لسببين من اكثر الاسباب شيوعا هما: (1) عدم نفاذية غطاء البذرة (2) سبات الاجنة وفى بعض الانواع لايوجد الا سبب واحد لتعليل هذه الظاهرة، اما فى عدد من الانواع فيلزم تعليلها بكلا التعليلين.

عدم نفاذية غلاف البذرة *Impermeability of seed coat*،

من الاسباب الشائعة لتأخر عملية الانبات وابطائها صلابة غطاء البذرة فاحيانا لاينفذ الماء منه، وغالبا لايسمح لغاز الاوكسجين بالنفاذ خلاله ويرجع سبات كثير من بذور البقوليات والزيزفون basswood، ونجمة الصباح morning glory – وغيرها من النباتات الى عدم نفاذية جدرها، واقل الاسباب شيوعا هو عجز البذور عن الانبات لان غطاء البذرة يقاوم بطريقة آلية تضخم الجنين بداخلها، وفى الاحوال الطبيعية، يعمل تجمد الماء وذوبان الثلوج بالاضافة الى نشاط الكائنات الدقيقة على زيادة نفاذية غطاء البذرة زيادة تدريجية حتى يتم الانبات . والبذور ذات الغطاء عديم النفاذية مثل بذور نبات البرسيم غالبا ماتعامل بالخدش Scarification وذلك لتعجيل انباتها، وتحتك البذور بالتربة وتبرى على سطوحها اذا ماأثيرت عليها بفعل الرياح، وهذا يسمح بامتصاصها للماء وبالتالى انباتها، ويمكن تحقيق ذلك على نطاق ضيق وذلك بحك البذور على سطح ورق الصنفرة الناعم او بريها بمبرد.

سبات الاجنة *Dormant embryos*

تعجز بذور كثير من النباتات عن الانبات حتى بعد نزع غطائها تماما ووضعها فى ظروف مناسبة لانباتها ويتبع هذا النمط كثير من اشجار الغابات والفاكهة، ويرجع العجز فى الانبات الى الجنين وظروفه الفسيولوجية، فمثل هذه البذور لابد ان تمر بسلسلة من التغيرات الانزيمية والكيميائية المعقدة يطلق عليها جميعا عمليات مابعد النضج.

after – ripening processes، فكثير من البذور يلزمها درجات الحرارة المنخفضة فضلا عن الرطوبة لكى تتم بها تفاعلات مابعد النضج . وفى المناطق ذات الطقس المعتدل تتوفر هذه الظروف فى الاحوال الطبيعية اثناء فصل الشتاء، ويمكن احداث تفاعلات مابعد النضج بعملية تعرف باسم التنضيد Stratification وفى هذه العملية توضع البذور فى رمل رطب او حزاز المستنقعات الذى تبلغ درجة حرارته 1 ـ 6 م° (34 ـ 43 ف°) لفترات زمنية مختلفة قد تصل فى الغالب الى بضعة شهور.

وقد تحتوى البذور على مواد كيميائية مختلفة تعمل على تثبيط الانبات واعاقته، وفى العادة يمكن التخلص من هذه المعوقات اذا مابللت هذه البذور بالماء، كما يحدث فى التربة الرطبة، وتعتبر المثبطات inhibitors ذات نفع للنباتات التى تنمو فى مناطق تتعرض لفصول جافة جفافا واضحا، فالرذاذ الذى يحدث من حين الى اخر فى هذه المناطق لن يزيل هذه المعوقات وبالتالى تتأخر عملية الانبات الى ان يحين فصل الامطار، وفى هذا الفصل وعندما يتم نقع البذور وغسلها جيدا بماء المطر تتخلص هذه البذور من هذه المعوقات فتنبت فى وقت مناسب تتمكن فيه من مواصلة نموها.

السبات الثانوى *Secondary dormancy*

لاجنة كثير من الحشائش سبات ثانوى فقد تعمل درجة التجمد فى فصل الشتاء على ازالة السبات الابتدائى الا ان الظروف قد لاتتوفر لعملية الانبات فى فصل الربيع التالى كأن تكون التهوية غير كافية بسبب وجود البذور على ابعاد عميقة من سطح التربة مثلا، فان هذه البذور ترتد الى حالة السبات ولكى يتم انباتها لابد من ان تمر هذه البذور مرة ثانية بتفاعلات مابعد النضج قبل ان تنبت.ويعتبر السبات الثانوى عاملا هاما فى وجود بذور الحشائش بصفة دائمة فى الاراضى المزروعة.

البذور غير السابتة *Nondormant seeds*

تعتبر ظاهرة كمون البذور ظاهرة شائعة وليست عامة فبذور بعض النباتات خصوصا ماينضج منها مبكرا فى فصل النمو، تنبت بمجرد ان تصل الى حجمها الكامل او عندما تسقط من النبات الام فبذور الصفصاف salix والحور والقيقب الفضى silver maple والبلوط الابيض تنبت بمجرد سقوطها على سطح التربة، ويقال ان بذور الصفصاف تنبت عقب انتثارها مباشرة فى فترة تتراوح بين 12 ـ 24 ساعة، وفى الجو الجاف قد تنبت بذور بازلاء الحديقة داخل قرن الثمرة، وفى مثل هذه الاحوال الرطبة تنبت اصناف معينة من الذرة داخل عصيفاتها، بينما الكوز مازال متصلا بالنبات الام، وتنبت بعض اصناف القمح وغيرها من النباتات التى لها حبوب صغيرة اذا ماتيسرت الرطوبة لها، ومثل اخر على البذور غير الكامنة مايوجد فى الاصناف الاسبانية من الفول السودانى، فقد تنبت بذوره فى التربة اذا كان الطقس رطبا وذلك بعد نضج الثمار وتأخر الحصاد . وواضح ان مربى النباتات يعملون على انتخاب اصناف تتميز بفترة كمون لتجنب هذا الفقد ماامكن.

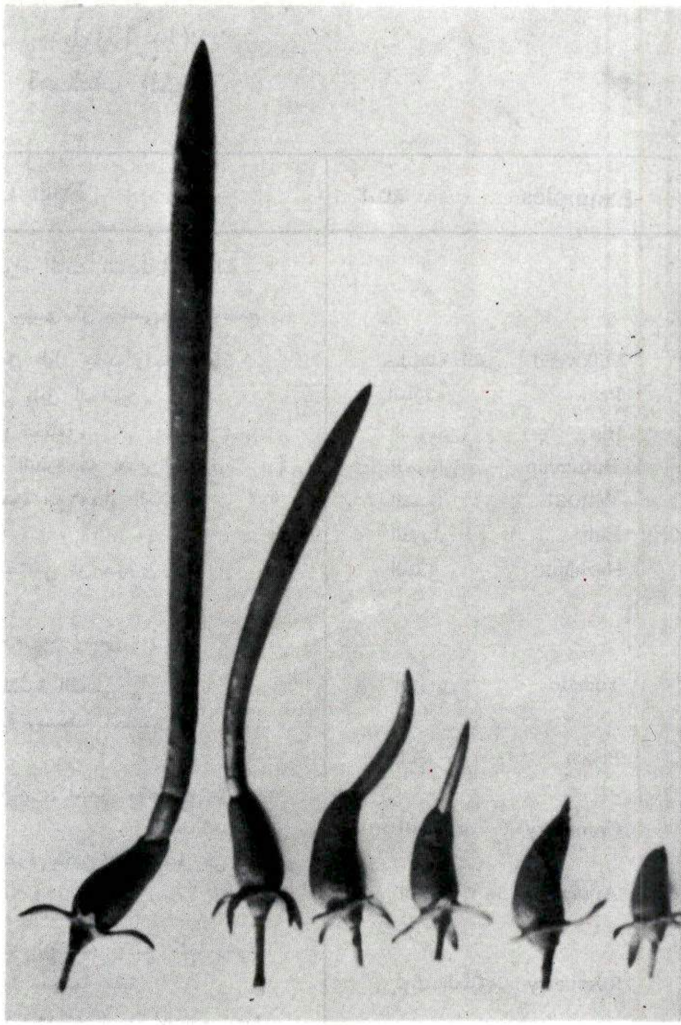
واقصى الحالات التى لايوجد فيها ظاهرة السبات هى الحالة التى ينمو فيها الجنين مباشرة دون توقف ليكون البادرة، ويسمى الانبات فى هذه الحالة بالانبات العذرى vivipary، وبالرغم من ان هذا النوع من الانبات غير شائع الا انه معروف سواء فى نباتات ذوات الفلقة الواحدة مثل نبات الغاب الهندى bamboo وغيره من انواع العائلة النجيلية او فى نباتات ذوات الفلقتين والمثال الذى يلفت النظر بخصوص الانبات البكرى فى نباتات ذوات الفلقتين مايوجد فى بذور نبات التين الهندى الاحمر red mangrove، وهو من الاشجار التى توجد فى المناطق الاستوائية المنخفضة او المناطق شبه الاستوائية، وتنمو على شواطىء البحار او على شواطىء الانهار التى تتعرض للمد والجزر ، ولاتوجد فى الثمرة غير بذرة واحدة ويواصل الجنين نموه بينما الثمرة وبذرتها مازالت على اتصال بالشجرة الام (شكل 13 ـ 26) وينمو الجذير الى اسفل ثم تتبعه السويقة تحت الفلقية التى تستطيل بدرجة كبيرة متخذة شكل مشجب وقد يصل طولها الى 9 بوصات او اكثر وتظل الفلقات داخل غطاء البذرة وتمتص الغذاء من الاندوسبرم، كما تظل البادرة متصلة بالنبات الام، لبضعة شهور، وفى النهاية ينفصل كل من السويقة تحت الفلقية والرويشة عن الفلقات ويسقطان من الشجرة وتقع سواء فى الطين او تحت سطح الماء الضحل، وكثير من البادرات تسقط الى اسفل فى الاتجاه العمودى بحيث تبقى فى وضع قائم فتغرس نفسها فى الطين. وفى الحال تحمل جذورا جانبية وقد تنبطح البادرات الاخرى على سطح الطين عند سقوطها حيث تواصل نموها، او قد تطفو عائمة وتبتعد عن النبات الام وتستقر فى منطقة نائية، والبادرات التى تنبطح افقيا تنحى بالتدريج بفعل الجاذبية الارضية وتتخذ وضعا رأسيا.

وتعتبر الحالة التى توجد عليها النباتات التى لاتتميز بفترة السبات من الحالات البدائية، ويظن ان هذه الفترة قد ظهرت بعد ذلك فى طور من اطوار التطور فالمفروض ان الابطاء فى النمو هو ميزة من المميزات التى يتمتع بها النبات للابقاء على حياته، وان انباته دون ابطاء قد يعرض بادراته الى درجة منخفضة او عالية من درجات الحرارة، او الى الجفاف، وتعمل فترة السبات على تأخير النمو الى ان تتحسن الظروف ضمانا لبقاء البادرات.

اجل البذور Longevity of Seeds

تختلف البذور اختلافا كبيرا بالنسبة للفترات الزمنية التى تظل عندها محتفظة بحيويتها وقدرتها على الانبات، فبذور بعض الانواع لاتحتفظ بحيويتها الا لبضعة اسابيع او شهور، بينما البعض الآخر يحتفظ بحيويته لعدة سنوات، ويمد اجل معظم البذور وذلك بتخزينها فى درجات الحرارة المنخفضة . ومع ذلك فقليل من الرطوبة مصحبة بدرجات من الحرارة المنخفضة كذلك انخفاض نسبة الاوكسجين تمد من آجال كثير من البذور، خصوصا الحشائش ويلزم حفظ بذور بعض المحاصيل الاستوائية مثل الكاكاو والبن فى حالة رطبة، وتحتاج هذه البذور الى طرق خاصة لتخزينها.

والتقارير التى تكتب من آن الى اخر عن انبات حبوب القمح التى وجدت فى مقابر المصريين القدماء وكذلك عن انبات حبوب الذرة التى وجدت فى الروابى المدفونة للهنود



شكل (13 ـ 26) مراحل انبات البذور العذرية لنبات التين الهندى (شورى mangrove (Rhizophora mangle)

الحمر، لم تتأيد بعد وتعتبر غير صحيحة ومن المعروف ان عددا من البذور التى تزرع فى الحقول او فى الحدائق تحتفظ بحيويتها لفترة تبلغ 10 ـ 25 عاما الا ان النسبة المئوية للانبات تهبط تدريجيا بطول فترة التخزين . ومن اطول ماسجل بهذا الخصوص بالنسبة لحبوب القمح هو نسبة انبات تبلغ 69٪ بعد 32 عاما من التخزين.

ومن المسلم به فعلا طول آجال بذور الحشائش خصوصا اذا كانت مطمورة فى التربة، فقد وضح ذلك من تجربة بدأها الدكتور بيل W.j. Beal من جامعة ولاية متشجان . ففى خريف عام 1879 ملأ الدكتور بيل 20 قارورة سعة كل منها حوالى نصف لتر برمل به 50 بذرة من كل نوع من العشرين نوعا التى استعملها فى تجربته وهذه الانواع هى من الحشائش العشبية وعليه فقد بلغ ماوضعه فى كل قارورة 1000 بذرة ثم طمر هذه القوارير على عمق 18 بوصة من سطح التربة، وكان يستخرج احدى القوارير بعد فترة معينة ويختبر بذورها لتقدير نسبة انباتها، فوجد ان ثلاثة انواع منها فقط هى التى احتفظت بحيوية بذورها لفترة اطول من 50 عاما وفى عام 1950 اى بعد حوالى 70 عاما من طمرها فى التربة وجد ان نسبة الانبات فى بذور نبات زهرة الربيع

جدول (13 ـ 1)

تصنيف الثمار

Examples امثلة	Fruit Classifications انواع الثمار
	1 ـ الثمار البسيطة ثمار تنتمي الى مدقة واحدة سواء اكانت بسيطة أم مركبة .
	(أ) الثمار البسيطة الجافة الجدار الثمرى ورقى او جلدى او خشبى عند النضج .
Milkweed حشيشة اللبن	ـ الجرابية ثمرة تنتمى الى مدقة بسيطة وتفتح على طول جانب واحد فقط .
Pea البازلاء	ـ الباقلاء ثمرة تنتمى الى مدقة بسيطة وتفتح على طول الجانبين.
Iris السوسن	ـ العلبة ثمرة تنتمى الى مدقة مركبة وتفتح بطرق مختلفة.
Buttercup الحوذان	ـ الاكينة ثمرة بها بذرة واحدة ولا يلتحم جدار البذرة مع جدار الثمرة.
Wheat القمح	ـ الحبة ثمرة بها بذرة واحدة ويلتحم جدار الثمرة مع جدار البذرة .
Elm الدردار	ـ الجناحية ثمرة مجنحة .
Hazelnut البندق	ـ البندقة ثمرة كبيرة بها بذرة واحدة وجدارها خشبى او حجرى .
	(ب) الثمار البسيطة اللحمية جدار الثمرة كله أو جزء منه لحمى .
Tomato الطماطم	ـ اللبية جدار المبيض كله ينضج ليكون جدار الثمرة اللحمى .
Peach الخوخ	ـ الحسلة يتكون جدار الثمرة من طبقتين خارجية ووسطية لحميتين وطبقة داخلية حجرية او خشبية .
Cranberry أس برى	ـ اللبية الكاذبة ثمرة اضافية فيها كل الجدار الثمرى لحمى وتحتوى على الانبوبة الزهرية.
Apple التفاح	ـ التفاحية تشبة اللبية الكاذبة الا ان جدار الثمرة يتكون فى الاصل من طبقة وسطية لحمية وطبقة داخلية جلدية .
Raspberry توت العليق	2 ـ الثمار المتجمعة ثمار تنتمى الى عدد من المدقات البسيطة وتتبع كلها زهرة واحدة وبعض الثمار المتجمعة لا تعتبر الا ثمارا متجمعة فقط .
Strawberry الشليك	ـ اما الاخرى فتعتبر ثمارا متجمعة كما تعتبر ثمارا اضافية لأن التخت يكون جزء من الثمرة الناضجة
Pineaple الاناناس	3 ـ الثمار المركبة تتكون الثمرة من عدد من الثمار التى تتصل ببعضها اتصالا وثيقا وتنتمى الى ازهار مختلفة ، وتكون هذه الثمار جسما واحدا عند النضج .

المسائية evening primrose (oenothera biennis) هى 14 فى المائة، وفى نبات الحميض yellow dock)Rumex crispus(هى 8 فى المائة وفى نبات آذان الدب moth mullein)Verbascum blattaria(هى 72 فى المائة، وفى عام 1960 اى بعد حوالى 80 عاما كانت نسبة الانبات فى الانواع الثلاثة هى : 10، 2، 70 فى المائة على التوالى، وربما لاتتمكن بذور الحميض من الاحتفاظ بحيويتها فترة اخرى من الزمن.

ومع ذلك فيوجد من السجلات الموثوق بها مايشير الى ان بذورا قد خزنت لفترات زمنية اطول واحتفظت بحيويتها

وقدرتها على الانبات، فبذور اللبخ الصينى chinese tree legume (Albizzia) وهى من الاشجار البقولية تنبت بعد 147 عاما من تخزينها فى اماكن جافة وبذور نبات اللوتس lotus (Nelumbium) ويتبع عائلة نبات زنبق الماء – water lily ومعروفة بطول آجالها، فقد امكن استنبات بذرة من نبات اللوتس عام 1942 وكانت هذه البذور قد جمعت عام 1705 وحفظت فى المتحف البريطانى اى ان هذه البذور قد احتفظت بحيويتها مدة 237 عاما.

وما يجدر ذكره سجلان اخران بهذا الخصوص . ففى الدانمرك عثر على بذور فى احد المواقع الاثرية المؤرخة ووجد ان هذه البذور مازالت تحتفظ بحيوتها بعد ان طمرت لمدة 100 – 600 عاما ومن بينها نوعان يحتفظان بقدرتهما على الانبات بعد 1700 عاما . ويعزى طول اجال هذه البذور الى الاعماق الكبيرة التى عثر عليها فيها ففى هذه الاعماق تتعرض هذه البذور الى رطوبة وبرودة كما تتعرض لمحتوى اوكسجينى منخفض جدا . اما السجل الاخر فهو خاص بعمر بذور حية لنبات الترمس Lupin وجدت مطمورة فى منطقة التندرا بالاسكا على عمق 10 – 20 قدما فى طبقة تجمدت بصفة دائمة وعلى اساس التكوينات الجيولوجية قدر عمر هذه البذور باكثر من عشرة الاف عام . وقد قام بتخزين هذه البذور حيوان اللاموس Lemmings فى جحور كانت تقع على عمق بضع بوصات من سطح التربة . ويظن ان كارثة حدثت كانزلاق الارض مثلا ، اوقعت هذه القوارض فى شرك فطمرت جحورها فى منطقة تجمدت بصفة دائمة . وتعزيز هذا السجل المثير يتطلب مزيدا من التفاصيل عن هذه البذور الحية الموغلة فى القدم وعن عمرها وذلك باستخدام الكربون المشع (14 C) .

وقد بينت التجارب التى اجريت على تخزين البذور الحية ان التخزين فى ظروف دافئة رطبة لايزيد من معدل عمليات التحلل التى تحدث داخل البذرة فحسب بل تشجع هذه الظروف على اصابة هذه البذور بالحشرات وفطريات التخزين فحبوب الذرة التى تظل حية بصفة طبيعية لمدة خمس سنوات تحت ظروف التخزين فى المزارع تحتفظ بحيويتها لاكثر من 20 عاما اذا ماخزنت تحت ظروف منخفضة (3 فى المائة) من الرطوبة ودرجات من الحرارة تقرب من درجة التحمل . ومثل هذا التخزين له اهميته لمربى النباتات الذين يرغبون فى إعادة أو إجراء تجارب جديدة على نفس البذور أو على germ plasm فيما بعد .

ومنذ معرفة الانسان للزراعة نشأت مشكلة الاحتفاظ بالبذور حية لتزويد المزارع بها . وكان من الضرورى حفظ البذور سليمة من وقت حصادها الى ان يحين بذرها وكان من المرغوب فيه ايضا فى حالة وفرة المحصول ان يخزن الزائد منه لمدة فصل أو عدة فصول خشية العجز فى الانتاج وقد استخدمت عدة طرق لذلك منها على سبيل المثال ترك النباتات وما تحمله من بذور معلقة فى عوارض السقوف ثم استخدم لهذا الغرض ايضا الفرارات والسلال والجرار والحفر فى الارض.وفى البلاد النامية مازالت بعض هذه الطرق مستعملة حتى الآن . وفى الطرق الحديثة للتخزين يمكن التحكم بدقة فى كل من درجة الحرارة ودرجة الرطوبة . ولاشك ان تخزين بذور المحاصيل بالطرق المناسبة يعتبر حيويا لتزويد الانسان بما يحتاجه من غذاء .

الخلاصة Summary

1 – تتكون الثمرة من مدقة وتتركب على الاقل من مبيض واحد ناضج ضمن محتوياتها ويسمى جدار المبيض بعد النضج جدار الثمرة وقد تشتمل الثمرة على اجزاء اخرى من الزهرة مثل الانبوبة الزهرية او على تراكيب تتصل اتصالا وثيقا بالزهرة مثل التخت .

2 – تتحكم الهرمونات فى تمايز الثمار . ويتم تكوين هذه الهرمونات عقب عملية التلقيح فى كل من البذور النامية والانسجة الاخرى للثمرة .

3 – الثمار التى تتكون فى غياب عملية الاخصاب يطلق عليها الثمار العذرية.وبعض النباتات تكون الثمار العذرية وذلك بطريقة طبيعية.وقد امكن ايضا انتاج مثل هذه الثمار بطريقة صناعية وذلك باستخدام منظمات النمو المختلفة .

4 – يمكن تصنيف الثمار كما فى الجدول 13 – 1 .

5 – يعتبر الجزء الذى يؤكل من النبات ثمرة اذا تكون هذا الجزء من مبيض أو من مبيض يتصل به تراكيب اخرى

وثيقة الصلة به . وأى جزء آخر يؤكل من النبات يصنف كأحد الخضر .

6 ـ وفى عملية تمايز البذرة يتوقف الجنين غالبا عن النمو بينما تستمر البذرة فى نضجها وانتشارها وبعد فترة سبات يحدث الانبات فيواصل الجنين نموه وعوامل الانتشار هى الرياح والماء والانسان وغيره من الحيوانات .

7 ـ يتوقف انبات البذور على عوامل خارجية واخرى داخلية واهم العوامل الخارجية الرطوبة ودرجة الحرارة والاوكسجين،وتشمل العوامل الداخلية نفاذية غطاء البذرة وضرورة اتمام عمليات ما بعد النضج وتستحث عملية الانبات بمعاملة البذور بالخدش او التنضيد .

8 ـ تنبت بعض البذور بمجرد تمام تكوينها وفى بعض البذور ينمو الجنين مباشرة ليكون بادرة دون ان يتوقف عن النمو (الانبات العذرى) .

9 ـ الجذير هو اول تركيب يظهر خارج غطاء البذرة عند الانبات .

10 ـ فى بعض البذور تبرز الفلقات فوق سطح التربة اثناء الانبات اما فى غيرها من البذور فتظل الفلقات تحت سطح التربة .

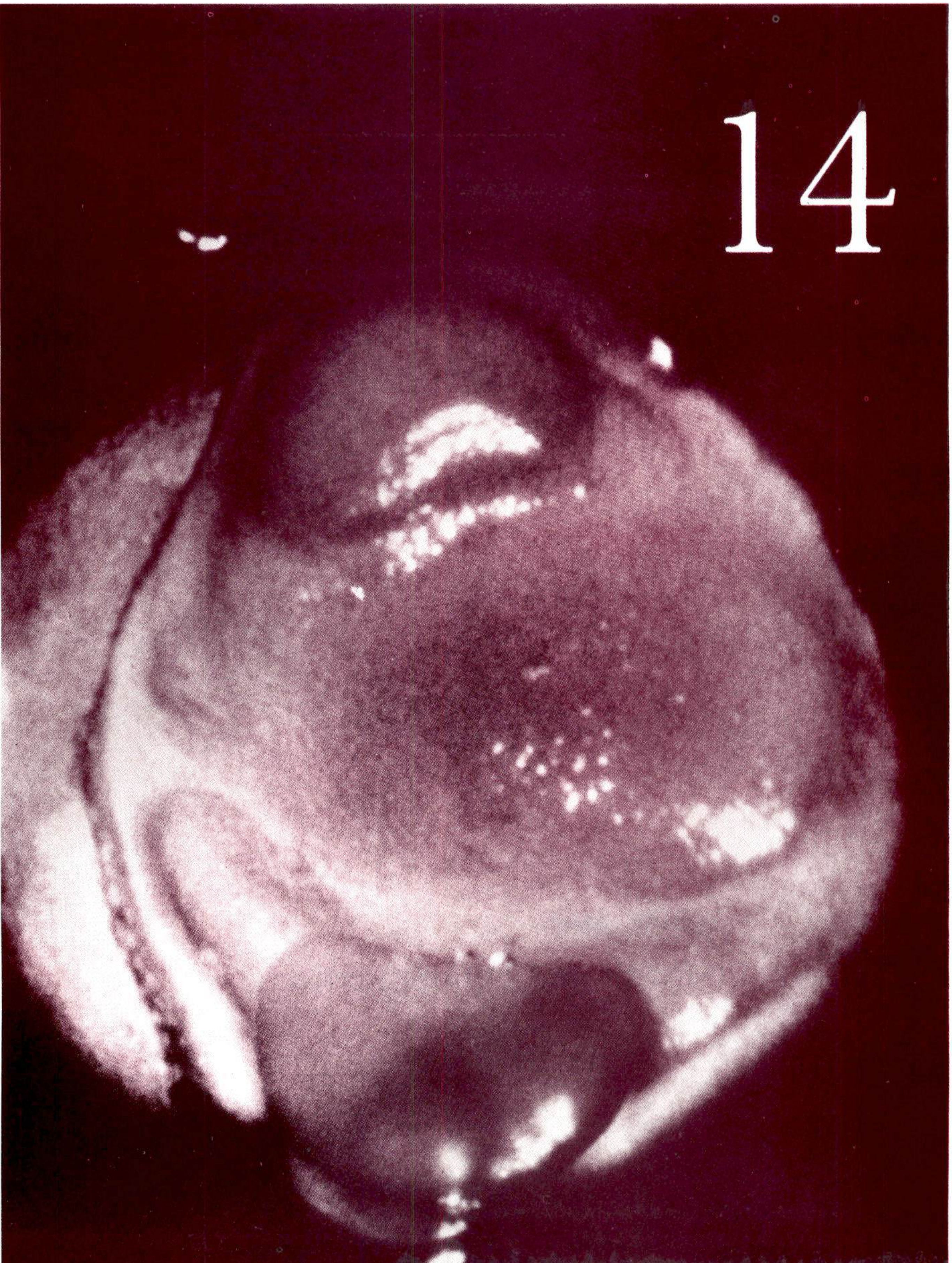
11 ـ تقوم الفلقات بوظائف مختلفة اثناء الانبات فقد تتلون باللون الاخضر وتصنع الغذاء وقد تختزن الغذاء وقد تهضم الغذاء وتنقله الى بقية اجزاء الجنين النامى . وفى بعض النباتات تقوم هذه الفلقات بأكثر من وظيفة واحدة من هذه الوظائف السابقة .

12 ـ تختلف حيوية البذور اختلافا كبيرا تبعا لاختلاف اعمارها واختلاف الظروف التى تخزن فيها.ومعظم البذور تحتفظ بحيويتها لفترة تبلغ 10 ـ 20 عاما .

النمو والتمايز

Growth and Differentiation

14

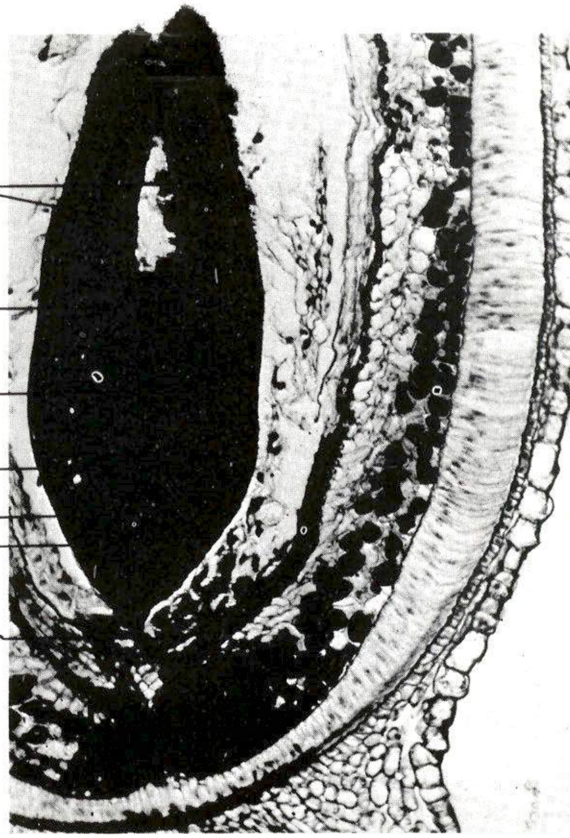


النمو والتمايز
Growth and Differentiation

يعتبر النمو ميزة من مميزات الكائنات الحية . وتبدو اهمية دراسة النمو فى حياة النبات لما تمتاز به الكائنات النباتية من استمرار نموها طوال فترة حياتها ، وفضلا عن أن معظم نواتج التحولات الغذائية فى النبات تصب فى وعاء عملية نموه . ويعرف النمو عادة بالزيادة غير الانعكاسية فى حجم النبات سواء أكانت هذه الزيادة فى حجم الكائن ككل أو فى أى جزء منه . وعلى مستوى الخلية يمكن تحليل النمو بصفة عامة الى عمليتين هما : عملية انقسام الخلايا ومايتبعها من زيادتها عددا وحجما . والزيادة فى عدد الخلايا لاتعنى بالضرورة زيادتها فى الحجم إلا أن عملية النمو لابد أن يصحبها كبر الخلايا المنقسمة وتتميز عملية النمو فى النبات بعدد كبير من الظواهر الكيميائية الحيوية ، فتشمل تخليق بروتوبلازم جديد ، وكذلك تجهيز مكونات غير بروتوبلازمية كالجدران الخلوية . ودخول الماء الى الخلايا وهذا الماء يشغل حيزا كبيرا من حجم كثير الخلايا ، يلعب دورا أساسيا بها .

وانقسام الخلايا وكبرها لايعنى بالضرورة انتاج عضو متكامل معقد بل يعنى بدلا من ذلك كتلة غير مشكلة من الخلايا . إلا أنه عند انقسام الخلايا وكبرها داخل النبات فانها تستبدل بطراز من الخلايا المشكلة المميزة للساق والجذر والأوراق وهذا البديل ليس بديلا عشوائيا بل يتبع نظاما دقيقا ينتج عنه أنسجة ذات وظائف مميزة . وتعرف متابعة التغير فى شكل الخلية ووظائفها والتى بها تصبح حالة الخلايا فيما بينها مغايرة لحالتها الجنينية المتشابهة باسم التمايز Differentiation أما الاصطلاح المعروف باسم التطور Development فيطلق عادة على النمو والتمايز مجتمعين وبعملية التكوين يكون النبات أعضاءه المرتبة المنسقة .

وعادة مايستخدم البيولوجيون المتخصصون فى علم الحياة التكوينى الاصطلاح المعروف باسم تكون الشكل Morphogenesis للدلالة على شكل وتركيب الكائن الحى ، أما من الوجهة العملية فعلم الحياة التكوينى الذى يعتبر أحد المجالات الرئيسية فى البحوث البيولوجية الجارية ، لاتقتصر دراساته على التركيب فقط بل تتعداه الى الدراسات الفسيولوجية والكيميائية الحيوية ووسائلهما الآلية فى منشأ وشكل الكائن الحى .



شكل (14 ـ 1) جنين عمره ستة ايام لنبات ابو طيلون (الواك) Iindian mallow (Abubon theon theophrastı) وهو من النباتات الحولية ذات الفلقتين . لقد تحدد من منشأ البشرة (البشرة الاولية) والكامبيوم الاولى والمرستيم الاساسى وكذلك مرستيم الساق وطرف الجذر . يتم نمو الجنين خلال (15) يوما من الاخصاب .

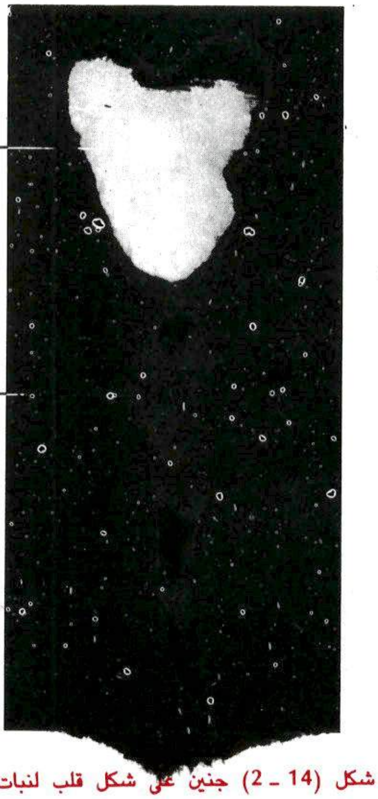
الدراسات الجنينية ـ وبدء ظهور جسم النبات : Embryogenesis – The Beginning of the Plant Body

تعتبر البيضة الملقحة أو الزيجوت (الفصل الثانى عشر) فى النباتات التى تتكاثر تزاوجيا أهم خلية انشائية بين الخلايا المختلفة (اللوحة 15أ) ومن الزيجوت تبدأ دراسة التكوين . وبالرغم من أن الزيجوت لايبدأ انقسامه قبل عدة أيام من تكوينه ، إلا أنه لايعتبر سابقا بأى حال من الأحوال . ويبدو ان عدة تغيرات هامة تحدث به . تشمل هذه التغيرات تكوين الشبكة الاندويلازمية وتخليق وتجميع الريبوسومات ، وأختزال حجم الفجوة السائلية ، وغيرها من التغيرات التى تحدث فى عضيات Organelles الخلية ، وتعمل كل هذه على تهيئة الخلية لنشاط حيوى مكثف . وحينما تبدأ هذه الخلية فى الانقسام فان ذلك يتم بطريقة منتظمة ، بحيث يتكون الجدار الخلوى عقب كل انقسام فتيلى Mitosis وينتج عن ذلك ، فى معظم الأنواع ، خيط قصير تتصل قاعدته بجدار الكيس الجنينى (شكل 12 ـ 27) . يسرع الجنين الخيطى الشكل فى تنسيق خلاياه ويتم ترتيبها فى منطقتين (اللوحة 5 ب) فيرتب المعلق عند القاعدة أى فى الطرف القريب من النقير ، ويتكون من خلايا ذات فجوات ، وربما تختص هذه الخلايا بامتصاص الغذاء فضلا عن توجيه الجنين فى الاندوسبرم . أما الطرف القمى فيتكون من خلايا ممتلئة بدرجة كبيرة بالسيتوبلازم وتعتبر هذه الخلايا أصل الجنين وتنمو لتكون النبات البدائى Rudimentary Plant وتؤدى الانقسامات المتكررة للخلية الى تكوين كتلة متجانسة من الخلايا يطلق عليها الجنين الكروى Globular Embryo .

وخلال بضعة ايام تبدأ الخلايا فى تركيب وتنسيق وضعها داخل الجنين . فعلى سطحه ينحصر انقسام الخلايا تدريجيا فى مستواه العمودى ، وينتج عن هذا الانقسام طبقة متميزة من الخلايا هى منشأ البشرة Protoderm ، التى تعتبر طليعة لطبقة البشرة (اللوحة 5 جـ ، والشكل 14 ـ 1) . وفى نفس الوقت تقريبا يتميز قالب مركزى أو اسطوانة من الخلايا الضيقة المستطيلة هى منشأ الاسطوانة الوعائية التى تحدد بداية النظام الوعائى . أما ماتبقى من الخلايا الانشائية

الأساسية فانها تكبر وتتكون الفجوات بها وتنتظم فى النسيج الاساسى Ground Tissue . وقد سبق وصف الطريقة التى تنشأ بها الأنسجة الثلاثة المماثلة التى تتكون تحت قمة الساق مباشرة (الفصل السابع) ويشاهد هنا بوضوح تكوين هذه الأنسجة الثلاثة فى الجنين المبكر .

وفى طرف الجنين المقابل للمعلق يبدأ تكوين الأعضاء مع ظهور الفلقات (اللوحة 5 جـ) ويبدو الجنين قلبى الشكل (فى ذوات الفلقتين) وبه استقطاب فى ترتيب خلاياه بحيث يختلف طرفاه (شكل 14 ـ 2) . وطبيعى أن يؤدى تمايز الأنسجة ، كما فى البشرة والنسيج الوعائى الى حالة من النضج التى بها يتوقف تضاعف الخلايا فى العدد . ولو تعرضت كل خلايا الجنين لمثل هذا النوع من التمايز لتحددت نهاياتها إلا أنه يوجد بين الفلقات فيما يعرف باسم قطب الساق الجنينية مجموعة صغيرة من الخلايا ترتب وتنسف لتكون المرستيم الطرفى للساق (شكل 14 ـ 1) . وعلى الساق الجنينى قريبا من القطب المقابل توجد مجموعة أخرى من الخلايا تكون المرستيم الطرفى للجذر ، وتحتفظ هذه الخلايا بحالة تسمح باستمرار نموها . ونتيجة لذلك يبقى الجنين على هيئة نظام «مفتوح الطرفين» له القدرة على أداء نمو غير محدود . ولو لم توجد هذه المراكز فى الجنين لما وجد التصميم البنائى الأساسى للنبات المبين فى الفصل الثانى .

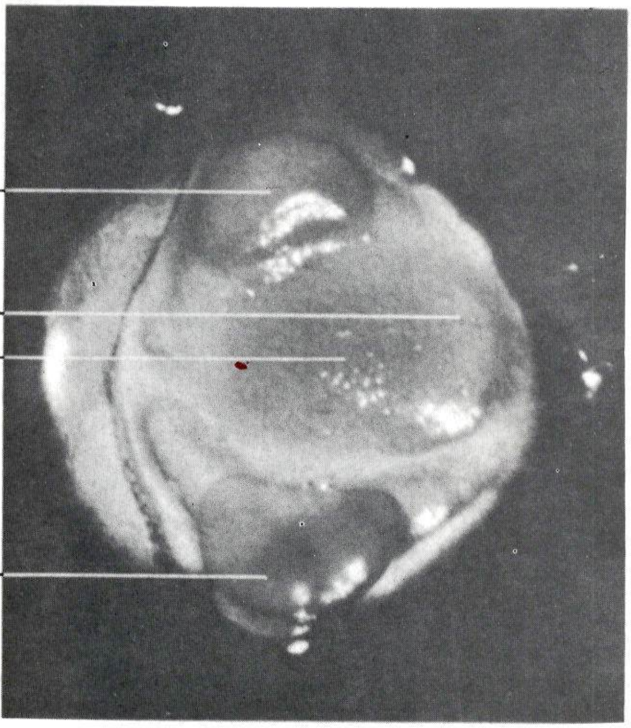


شكل (14 ـ 2) جنين على شكل قلب لنبات حشيشة القزاز chick weed (Stellaria media) مستخلصا من البويضة ovule يبلغ طول الجنين 25 . 0 مم وهو متصل بمعلق تضخمت خليته القاعدية .

التحكم فى عملية تكوين الجنين Control of Embryo Development

عرف منذ مدة طويلة أنه اذا فصل الجنين من بذرة ناضجة أو من بذرة تكاد تصل الى حالة النضج ، وزرع فى وسط غذائى ، فانه يبدأ فى تكوين نبات جديد . وقد استغل علماء تربية النبات وعلم الفاكهة هذه الطريقة للتخلص من سبات البذور التى يكون سبب سباتها الجنين ذاته . وغالبا ماتؤدى هذه الطريقة الى اقتصاد فى وقت ذى قيمة . وبهذه الطريقة يمكن زراعة جنين هجين بين نوعين بينهما تباعد فى صلة القرابة ، يتم اجهاض مثل هذا الجنين قبل أن يصل الى حالة النضج ، ولكن يمكن فصل هذه الاجنة قبل ذلك ، وبهذه الطريقة يمكن الحصول على نباتات مهجنة ، لايمكن الحصول عليها بغير هذه الطريقة . والخطوات المتبعة فى مثل هذه الحالات هى اما البدء باجنة تكاد تكون ناضجة او اجنة تامة النضج . وبهذه الخطوات امكن الحصول على معلومات يسيرة عن كيفية بلوغ حالة النضج فى الاجنة اذا تركت وشأنها .

ففى بعض التجارب تم بنجاح زرع جنين يبلغ من الصغر حد الجنين الكروى ، ومع ذلك فقد وجد أن هذا الجنين الصغير للغاية يحتاج الى عدة مواد عضوية معقدة مثل الفيتامينات والاحماض الامينية ، وعوامل النمو مثل الاوكسينات Auxins والسيتوكينينات Cytokinins التى يحصل عليها الجنين الاكبر سنا من تلقاء نفسه . وفضلا عن ذلك فقد تبين أهمية التركيز الازموزى العالى فى الوسط الذى تزرع فيه الاجنة الصغيرة غير المتمايزة . ومما يجدر الاشارة اليه أن هذه المتطلبات مجتمعة هى بعينها العوامل التىيمدبها الاندوسبرم الخصب الجنين الذى يوجد بصورة طبيعية بداخله . والواقع أنه عند اجراء بعض التجارب العملية يضاف غالبا الحليب الموجود فى ثمرة جوز الهند عند زراعة الاجنة الصغيرة النامية وهذا مايدعو الى الظن بتحكم مكونات الاندوسبرم المعقدة نوعا ما فى نشاطات الزيجوت وتأثيرها على ترتيب وتنسيق خلاياه . وهناك رأى آخر ، ومؤيدوه فى زيادة مستمرة يقول بأن هذا التحكم يقبع فى خلايا الزيجوت نفسها ، وأن دور الوسط



شكل (14 ـ 3) قمة نامية معراة لنبات الترمس lupine (Lupinus albus) نظر اليها من اعلى بنسبة تكبير حوالى 180 مرة تشبه القمة نفسها شكل القبة وفى الوسط يحيط بها احدث ثلاث بدايات للاوراق (اوراق اولية) .

الجنينى لايتعدى تهيئة الظروف والمواد اللازمة لاظهار هذا التحكم الداخلى . ولايقلل هذا الرأى من اهمية الوسط الجنينى كعامل له شأنه فى عمليات التكوين .

قمة الساق : The Shoot Apex

يعقب عملية الانبات دخول المرستيم الطرفى لكل من الجذر والساق ، الذى رتب ونسق أثناء عملية تكوين الجنين فى عدة عمليات . ولاتنحصر هذه العمليات فى نمو التراكيب والانسجة الموجودة فيهما فحسب ، بل فى انشاء أعضاء وانسجة جديدة لم تكن موجودة فى الجنين .

وللحصول على صورة جلية واضحة لقمة الساق يلزم تشريح البرعم الطرفى لساق خشبية أو عشبية تحت مجهر مجسم ، ويتم ذلك بانتزاع الاوراق الصغيرة الخارجية على التوالى . ويلاحظ صغر الاوراق ـ وتتابعها بحيث يكون أقلها تكوينا أقربها للقمة ، وفى هذا المستوى تتزاحم الاوراق نتيجة لعدم استطالة السلاميات . وفى هذا الحيز الضيق تنتظم الاوراق حول الساق ، واذا كان ترتيب الاوراق من النوع المتبادل ، فان بدايات الاوراق تنتظم لولبيا نحو القمة بصورة تصاعدية ، وفى النهاية تعرى قمة الساق ذاتها . وتظهر هذه القمة على شكل مسطح ناعم الملمس ، لامع يتراوح قطره من 0.1 مم الى 0.25مم (شكل 14 ـ 3) . وغالبا ماتكون هذه القمة على شكل رابية مقببة أو على شكل مخروط مستو نوعا ما ، ولكن قد يتمسطح أو يتعقر مثل الطبق . ولاتنشأ بدايات الاوراق فى وسط هذا المسطح بل تنحصر هذه البدايات فى حوافه .

وعند فحص التركيب الداخلى لقطاع طولى فى قمة الساق (شكل 7 ـ 5) يتضح ترتيب وتنسيق هذه المنطقة بدرجة كبيرة وفى النباتات الزهرية يغطى سطح القمة بطبقة واحدة او اكثر من الخلايا . وفى حالة وجود عدة طبقات، فانها تنشأ فى الواقع من الخلايا التى على السطح والتى فوق مستوى بدايات الاوراق، تنقسم فى مستوى عمودى على السطح، بينما يتم الانقسام فى الداخل فى مستويات متعددة.

وفى قمة الساق غالبا مانتمكن من مشاهدة مجموعة من الخلايا المركزية تكون اكبر من الخلايا التى تحيط بها، وهذه الخلايا المركزية لاتتلون بشدة بالصبغات التى تستعمل فى

صبغ القطاعات . ويندر مشاهدة اشكال الانقسام الفتيلى فى هذه الطبقة المركزية، ويعتقد بعض الباحثين ببطء النشاط الفتيلى فى هذه المنطقة اذا قورنت بزيادة هذا النشاط فى المنطقة المحيطة.فاذا تحقق ذلك فان الطبقة المحيطة تشكل الجزء الانشائى الرئيسى للقمة.

وحدة قمة الساق The Unity of the Shoot Apex

بالرغم من سلوك قمة الساق فى عملية التكوين العادى، سلوكا يبرزها كوحدة وظائفية واحدة، الا ان التجارب تشير الى قدرة هذه القمة على اعادة تكوين قمم اخرى جديدة من كل جزء منها وذلك اذا ماقسمت بطريقة غير طبيعية فبعد تعرية القمة بعملية التشريح السالفة الذكر، تجرح بسكين دقيقة مصنوعة من بقايا الشفرات ولها حواف حادة، فاذا مانصفت قمة الساق الى نصفين بقطعها قطعا واحدا فى الوسط (شكل 14 ـ 4 أ) اكمل هذان النصفان عملية تكوينهما باعادة تكوين قمتين كاملتين تنشأ عن كل منهما ساق (شكل 14 ـ 4 ب) بل انه فى حالة تقسيم هذه القمة الى اجزاء اصغر ففى الامكان تحقيق ذلك، فان كثيرا من القمم الناتجة يعاد تكوينها الى قمم كاملة واذا لم تقسم القمة فانها تستمر كوحدة وظائفية واحدة، وهذا مايدعو الى التساؤل: لماذا يسلك كل جزء مقسم من اجزاء القمة سلوكا مستقلا؟ وماهو نوع التحكم الآلى المتكامل الذى يؤدى الى سلوك القمة غير المقسمة كوحدة وظائفية واحدة، ؟ ولم تعرف بعد الاجابة عن هذه التساؤلات.



شكل (14 ـ 4) رسم تخطيطى يوضح اقسام القمة النامية للساق كما تظهر فى القطاع الطولى

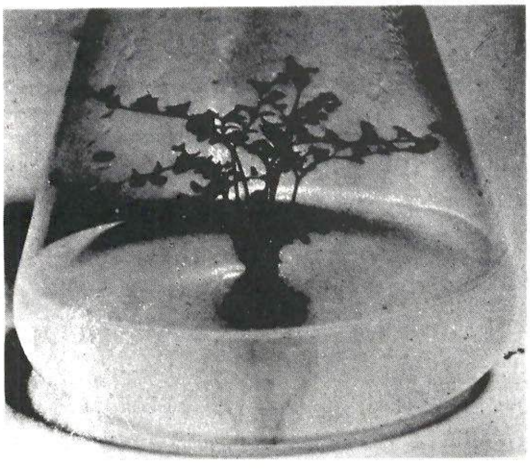
أ ـ القمة وتوضح القطع الاوسط

ب ـ نفس القمة بعد مضى اسبوعين او ثلاثة وتوضح الصورة التقسيمات التى ظهرت بعد المحصلة (أ) .

استقلالية قمة الساق Autonomy of the Shoot Apex

واضح ان قمة الساق الدقيقة تعتمد على مايصل اليها من الساق من ماء واملاح معدنية ومصادر للطاقة، الا ان امدادها بالمواد الاساسية شىء والتحكم فى استخدام هذه المواد التى تصل اليها شىء اخر، وعلى ذلك فعند مناقشة الترتيب المنسق للقمة النامية، ونشوء اوراق جديدة وكذلك مافى الساق من تراكيب، كان من الطبيعى ان يبرز هذا السؤال: هل هذا التحكم الآلى للقمة يقع فى داخلها؟ او انه مفروض عليها من الساق المنسقة التى تقع القمة فى نهايتها، او بعبارة اخرى هل تلعب القمة دورا توجيهيا تلقائيا، ام انها تستجيب الى حافز تتلقاه من المناطق البالغة للنبات؟

وللاجابة على هذا السؤال، تنزع قمة الساق من النبات، وتزرع فى وسط غذائى، وقد اجريت هذه التجربة على عدد من الانواع التى تشمل السرخسيات وغيرها من النباتات الوعائية غير الراقية، كما اجريت ايضا على نباتات كاسيات البذور، وبهذه الطريقة التقنية تبين ان قمة الساق الخالية من كل بدايات الاوراق قادرة على تكوين نبات كامل (شكل 14 ـ 5)



شكل (14 ـ 5) سرخس شعر العذراء maidenhair ferm (Adiantum pedatum)

انبت فى بيئة معقمة وبدأ الانبات بقمة نامية معزولة ولم تكن القمة تحمل أى بوادر لبدايات ظهور الاوراق .

الصورة اخذت بعد ستة شهور .

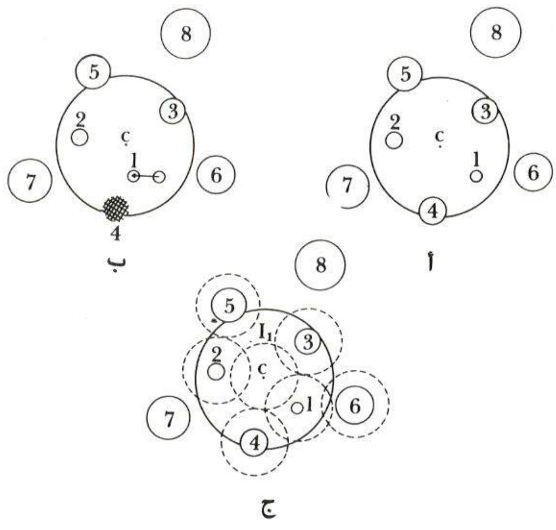
وفى بعض الحالات تتكون الساق اولا، ثم يعقبها الجذر، ولكن فى حالات اخرى تتكون بسرعة قمة الجذر فى وضع مقابل لقمة الساق بحيث يبدو النبات كبادرة ناشئة عن جنين . وفى اى حالة من هذه الحالات، يبدو واضحا ان قمة الساق لها اقتدار كلى totipotent اى انها قادرة على تكوين كائن نباتى كامل، ومما تجدر الاشارة اليه ان المتطلبات الغذائية لقمة ساق مفصولة من النباتات الوعائية غير الراقية ابسط مما تتطلبه قمة منزرعة من نباتات كاسيات البذور.

ويتضح الدور الهام الذى تقوم به قمة الساق كمركز للتنظيم والتنسيق فى عملية التكوين، اذا ما فصلت قطع صغيرة من ساق ناقصة النمو تحت القمة مباشرة بدلا من القمة، وزرعت فى وسط غذائى، وعادة ماتنمو هذه القطع ولكنها، بدون استثناء ينشأ عنها كتلة غير منسقة من الخلايا التى لاتتميز عن بعضها او تتميز قليلا، (نسيج الكالوس callus) بدلا من سيقان منسقة او نباتات كاملة . او بعبارة اخرى فان هذا التنسيق لاتقوم به قطعة تتمايز جزئيا، بينما تقوم به قمة الساق غير المتمايزة.

تكون شكل الورقة Morphogenesis of the Leaf

يتميز نمو الورقة بصفة عامة بانه محدود، بالرغم من ان بداية الورقة تنشأ من الساق التى تعتبر غير محدودة فى امكانية نموها، ومع ذلك فقد يمتد نمو الورقة حتى يبلغ طولها اكثر من 50 قدما كما فى بعض النخيل، والمظهر المهم الثانى الذى يميز نمو الورقة هو انتظامها انتظاما قطريا، والميزة الاخيرة لنمو الاوراق هى بروز بداياتها حول قمة الساق فى نظام واماكن معينة يمكن التكهن بها وسنبدأ بمناقشة اماكن هذه البدايات والعوامل التى تتحكم فيها.

فى كثير من النباتات التى تحمل فيها الاوراق على الساق عند العقد بصورة فردية (ترتيب متقابل) تبرز كل بداية ورقية جديدة حول القمة على بعد حوالى 138 درجة من البداية التى تسبقها . وبالبحث عن جواب على السؤال : لماذا تنشأ الاوراق فى الاماكن التى خصصت لها؟ تبرز اهمية التشريح التجريبى فبه يمكن ايقاف نمو بداية الورقة فى طور مبكر وذلك بثقبها بابرة او قطعها بسكين لتترك فى مكانها ندبة.ففى



شكل (14 ـ 6) رسوم تخطيطية توضح مواقع بدايات الاوراق على قمة الساق leafprimordia

أ ـ قمة نامية عادية مرقمة فيها بدايات الاوراق على التوالى بدءا من احدثها ، تلك الاوراق التى تجمعت حول مركز القمة .

ب ـ قمة نامية للمقارنة اوقف نمو بدايات اوراقها (4) (P_4) 4 بعد بدء ظهورها مباشرة .

ومن هنا ظهرت بداية الورقة p_1 بالقرب من موضع P_4 ، وكانت المسافة بينهما اقل كثيرا فى حالة القمة العادية .

جـ ـ تفسير ترتيب مواقع الاوراق ، ينطلق التفسير من افتراض وجود مناطق محرمة (موضحة بالرسم بدوائر منقطة) ومن هنا يمكن التنبؤ باحتمال ظهور بداية الورقة التالية (I_1) حيث هناك اقل تحريم أى اوسع مجال .

الشكل (14 ـ 6 أ) يمكن مشاهدة قمة الساق، وحولها تتجمع بدايات الاوراق مرقمة حسب تكوينها، بحيث يكون احدثها اولها ترقيما . وفى الشكل (14 ـ 6 ب) يمكن مشاهدة الندبة التى خلفتها بداية الورقة رقم 4 (P_4) بعد قطعها وايقاف نموها ولنقارن الان قمتين ومواضع الاوراق التى تلى الورقة المقطوعة فى كل منهما، ففى القمة المعاملة تنشأ البدايتان التاليتان وهما P_3 P_2 فى موضعهما الطبيعى من القمة. اما البداية التالية لهما وهى P_1، فانه يتم ازاحتها نحو الموضع الذى كان من المفروض ان تنشأ فيه الورقة

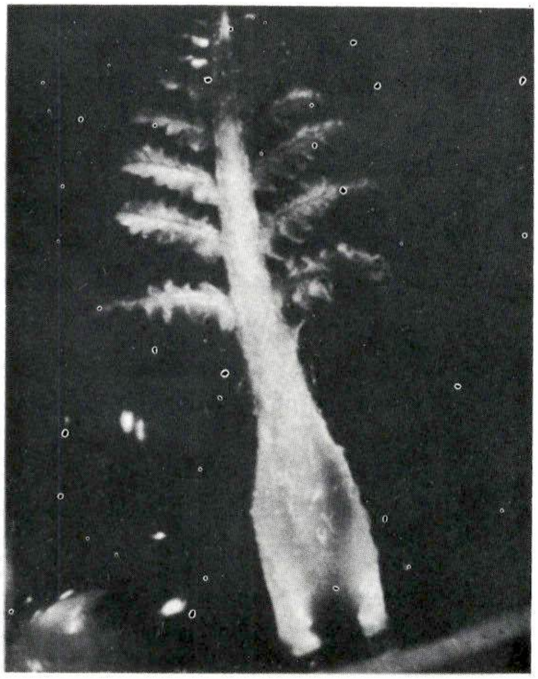


شكل (14 ـ 7) سرخس القرفة (الدراسينى)
cinnamon fern (Osmunda cinnamomea)
ربما يمكن انبات ورقة اولية صغيرة للغاية فى بيئة غذائية معقمة ومن ثم الحصول على نبات مكتمل بدلا من الورقة (السهم يشير الى القمة النامية والورقة الاولى) .

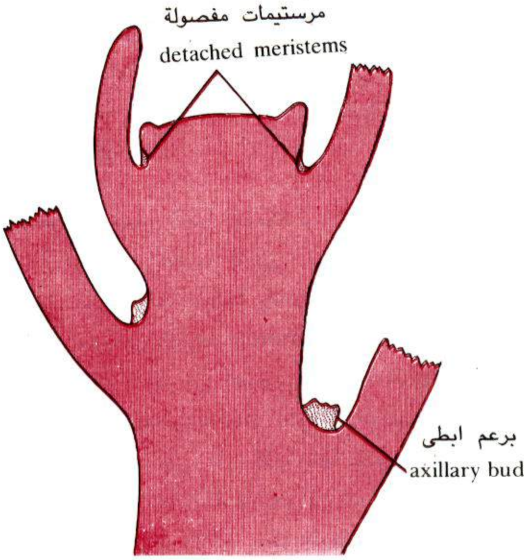
P_4 . وهذا لايعنى تحرك هذه البداية، ولكن يعنى بالدرجة الاولى زحزحتها عن الموضع الذى تبرز منه.

وقد اعيدت هذه التجربة على كثير من الانواع النباتية، وتبين من هذه التجارب ان منع احدى البدايات الورقية من الظهور قد ادى الى بروز البدايات التالية المجاورة لموضعها فى مكان اقرب الى هذا الموضع من مكانها الاصلى، وهذا مادعا الى الاعتقاد بوجود مجال معوق حول كل بداية ورقية يمنع تكوين بدايات ورقية جديدة ويعتقد ايضا بوجود مثل هذا المجال فى مركز قمة الساق . ويوضح الشكل (14 ـ 6 ج) كيف ينظم هذا النسق من المجالات موضع البدايات الورقية الجديد ولم يعرف بعد طبيعة هذه المجالات، ولكن يمكننا ان نتصور انها نتيجة لوجود مثبطة تفرز من بدايات الاوراق وكذلك من الخلايا المركزية للقمة النامية . وقد يوضح هذا التأثير المتبادل لمثل هذه المجالات المعوقة، كيف تظل قمة السباق وحدة متكاملة اثناء نموها ، او بمعنى اخر لماذا لاتنمو اجزاء هذه القمة نمواعشوائيا الا اذا فصلت هذه الاجزاء بطريقة ميكانيكية.

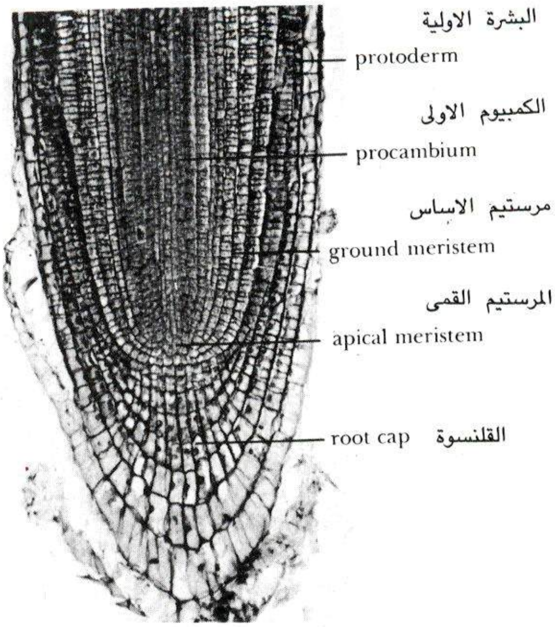
وبالرغم من تفسير كيفية التحكم فى مواقع بدايات الاوراق بنظرية الا ان هذه النظرية لاتنبىء بمستقبل هذه النتوءات وهل تصير اوراقا ام سيقانا. وتلقى بعض التجارب التى اجريت على سرخس القرفة cinnamon fern (Osmunda cinnamomea) شيئا من الضوء على هذا التساؤل . فاذا مانزعت من القمة بعض بدايات الاوراق المتناهية فى الصغر ووضعت فى وسط غذائى، فان كثيرامنها تنمو لتكون سيقانا، ثم تصير فى النهاية نباتا كاملا بعد ان تحمل جذورا (شكل 14 ـ 7) اما الاوراق الاكبر سنا فانها تنمو لتكون اوراقا فقط، وتفقد قدرتها على تكوين نبات كامل (شكل 14 ـ 8)



شكل (14 ـ 8) ورقة سرخس القرفة
cinnamon fern (osmunda cinnamomea)
مستنبتة فى بيئة غذائية معقمة ومن ورقة اولية اقدم للنبات



شكل (14 ـ 9) اصل البراعم الجانبية الناشئة عن المفصولة من آباط الاوراق الاولية .



شكل (14 ـ 10) طرف جذر بادرة الفجل
قطاع طولى radish (Raphanus sativus)

وتشير هذه التجارب الى ان قدرة بداية الورقة primordium على تكوين ورقة بدلا من ساق، تتحدد فى طور مبكر اثناء عملية نموها . كما تشير هذه التجارب ايضا الى ان هذه العملية الحتمية لاتتحكم فى تكوين الورقة ذاتها، ولكنها تضفى على بدايتها قدرة على التحكم فى ذات تكوينها ولم يعرف بعد البواعث التى تحدد بدايات الاوراق، ويعتقد انها على جانب كبير من التعقيد.

تطور البراعم The Development of Buds

واضح ان البراعم الابطية التى تكون افرع الساق تنشأ من قمة الساق، ففى القطاعات الطولية لكثير من قمم السيقان يمكننا ان نشاهد فى آباط بدايات الاوراق الحديثة جيوبا صغيرة من الانسجة المرستيمية يطلق عليها المرستيمات المعزولة detached meristems (شكل 14 ـ 9) ويبدو جليا ان هذه المرستيمات تنسب الى قمة الساق، واذا ماستمرت هذه الانسجة فى النمو، وبعدت عن القمة النامية، فانها تكون قمما للسيقان الصغيرة، وتحمل فى النهاية براعم جانبية وغالبا ماتنمو هذه الانسجة الى مرحلة معينة قبل ان يتوقف هذا النمو بتأثير ظاهرة السيادة القمية . ولايعرف بصورة كاملة طبيعة العمليات الآلية التى تمنع المرستيمات المفصولة من الاستمرار فى النمو والتكوين، ومع ذلك فان تراخيها فى النمو يتيح لها تكوين البراعم . وهناك من الاسباب العديدة مايدعو الى الاعتقاد بانه لو استمرت هذه المرستيمات المفصولة فى النمو، كما تستمر بدايات الاوراق، فان نموها يصبح محدودا مثل هذه البدايات الورقية.

تكون شكل الجذر : Morphogenesis in the Root

نظراً لوجود القلنسوة ، فإنه يستحيل بعملية التشريح البسيطة كشف قمة الجذر ، وبالتالى فحصها من الخارج (شكل 14ـ10) . ويبدو ان خلايا قمة الجذر اكثر ترتيبا وانتظاما من خلايا معظم قمم السيقان . وربما يرجع ذلك الى غياب الزوائد ، خلافا لما يوجد فى قمة الساق من زوائد هى عبارة عن الاوراق والبراعم ، والتى يضطرب بها ان وجدت تنظيم وتسلسل خلايا محور الجذر اثناء انقسامها . ونتيجة لذلك تتكون قمة الجذر غالبا من طبقات متميزة تمتد عبر

انسجة خاصة فى المنطقة البالغة من الجذر ، فقمة الجذر بخلاف قمة الساق تنشىء خلايا جديدة فى الاتجاه القمى ، كخلايا القلنسوة مثلا ، علاوة على انشاء خلايا اخرى فى الاتجاه القاعدى تضاف الى الجسم الاساسى للجذر . ولذلك تحاط هذه القمة احاطة كاملة بما تكونه من الخلايا البالغة ، ولا يعتبر وضعها طرفيا بصورة كاملة .

وبالرغم من هذا التفاوت فإنه يوجد تشابه اساسى بين قمتى الساق والجذر ، فكلاهما له القدرة على النمو نموا غير محدود . وفى قمة الجذر كما فى قمة الساق ، يوجد من الادلة ما يؤيد وجود مجموعة من الخلايا المركزية لاتنمو بصفة مستمرة ، بل يكاد نموها يكون نادرا ولقد تحقق من وجود هذا المركز الساكن quiescent center (شكل 9ـ3)، بصورة اوضح فى الجذر عن الساق . كذلك اذا قسمت قمة الجذر بقطع رأسى ، فإن الاجزاء الناتجة ترتب وتنسق لتكون قمم جديدة . وعلى ذلك فيوجد فى قمة الجذر ، كما يوجد فى قمة الساق ، عملية آلية متكاملة بها تنمو القمة كوحدة كاملة ، ولقد تحقق بالتجربة ، خصوصا على نبات البازلاء ، من قدرة قمة الجذر على النمو نموا تلقائيا . وفى هذه التجربة تم فصل قمم طولها 0.5 مم وتشمل القلنسوة (اما قمة الساق نفسها فكانت حوالى 0.2مم) وعند وضعها فى المحلول المغذى نمت وكونت جذورا . ولقد شملت هذه الجذور المفصولة بالاضافة الى القلنسوة جزءا اكبر من المرستيم الطرفى بقليل . ويمكن اعتبار هذا الجزء مصدرا لتنسيق وتنظيم خلايا الجذر اثناء نموها . ويبدو ان قمة الجذر مثلها فى ذلك مثل قمة الساق تتحكم فى نشاطات خلاياها ، إلا انها تكون جذورا بدلا من سيقان او نبات كامل .

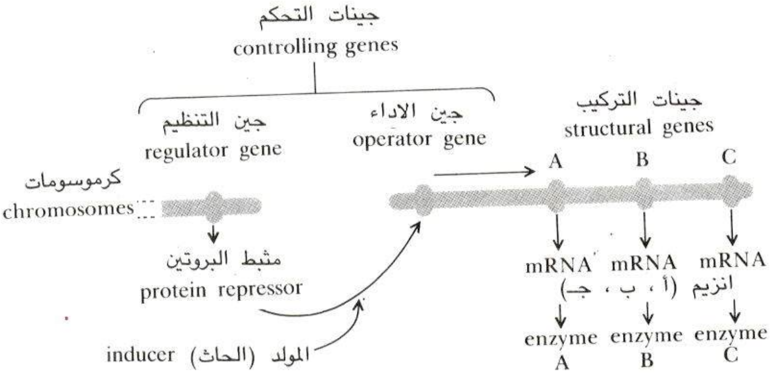
التمايز ونشاط الجينات Differentiation and Gene Activity

ذكرنا فى معرض الكلام عن النمو ، ظاهرة تمايز الخلايا خصوصا خلايا المنطقة الطرفية من سيقان كاسيات البذور (7ـ5 ، 7ـ6) واساس عملية التمايز هو التغير فى شكل الخلايا ، كل خلية على حدة . ومما هو جدير بالاعتبار سلوك هذه الخلايا بالفعل سلوكا متباينا ، بالرغم من وجودها بجوار بعضها . ففى داخل منشأ الاسطوانة الوعائية مثلا تختلف مناطق الخشب واللحاء اختلافا واضحا ، خصوصا فى الاطوار المتأخرة من تمايزها بل ان خلايا النسيج الواحد تختلف فيما بينها ، ومع ذلك فهذا التباين يتم فى اطار من التنسيق المنظم الذى يعتبر ضروريا لكى تقوم الساق الناتجة البالغة بوظيفتها على الوجه الاكمل . ومن الاهمية بمكان قيام عناصر الانابيب الخشبية بوظائفها كخلايا ، والاهم من ذلك انتظامها فى صفوف عمودية مع غيرها مكونة مجرى يتصل فى النهاية بالاوراق .

ولو اننا بعيدون كل البعد عن الاجابة على تساؤلنا : كيف تتم عملية التمايز المعقدة فى الخلايا ؟ الا انه امكن بهذا الخصوص الحصول على بعض المعلومات.فبمجرد التأمل فى جسم النبات ومدى الاختلاف الكبير فى طرز خلاياه ، يبرز ذلك السؤال المحير ، فكل هذه الخلايا قد نشأت من خلية واحدة اصلية هى البيضة المخصبة Fertilized egg . وكل الدلائل تؤيد الاعتقاد السائد بتشابه التركيب الوراثى لجميع الخلايا الموجودة فى نبات معين . فمثلا عملية تكوين البراعم على الجذور او السيقان ، ونشأة السيقان على العقل (الفصل الحادى عشر)، كلها تشير الى عدم حدوث تغير وراثى اساسى ، او وجود طفرات فى الخلايا المتمايزة . فإذا قامت الجينات بالفعل بتحديد تركيب النبات . او بمعنى آخر اذا قامت الجينات بالفعل بالتحكم فى عملية التكوين ، فكيف نفسر هذا الاختلاف الجوهرى بين الخلايا التى تحمل جينات مماثلة ؟.

فعملية التكوين فى الخلية هى فى المقام الاول نتيجة لتفاعلات كيميائية تحدث بداخلها ، وكل خطوة من خطواتها تتوقف على نوع معين من الانزيمات ، والانزيمات ماهى الا من عمل الجينات . والمبدأ الهام الخاص بعملية التمايز هو ان الآلاف المؤلفة من الجينات فى كل خلية ليست كلها (ربما لايتعدى ذلك نسبة مئوية ضئيلة) فى اى وقت من الاوقات فى حالة نشطة ، وكثير منها لاتنشط بتاتا طوال فترة حياة خلايا خاصة .

وهذا ما يدعو الى الاعتقاد بأن كل جين من هذه الجينات قد ينشط او يعاق نشاطه بالظروف والتفاعلات التى تحدث داخل الخلية . والسؤال الآن هو : كيف يتم هذا التغير فى نشاط الجينات ؟ ولو انه لايوجد رد قاطع على هذا التساؤل ، الا ان المبدأ المعمول به الآن ، ويطلق عليه مبدأ المادة المثبطة inhibitor او مبدأ المادة المعوقة repressor يلقى قبولا ايضا . ويمكن توضيح هذا المبدأ فى ابسط صورة على الوجه الآتى : رأينا فى (الفصل الرابع) كيف يتم تخليق جزىء البروتين بالجينات . وكيف يختص كل نوع منها فى سلسلة عديدة الببتيد ، بنوع معين من الاحماض الامينية ، ويطلق على هذه الجينات اسم الجينات التركيبية structural genes (شكل 14ـ11). ومن المسلم به وجود مجموعة اخرى من الجينات هى الجينات الضابطة controlling genes تتحكم وتنظم سلوك الجينات التركيبية . ومن المسلم به ايضا وجود نوعين من هذه الجينات : الجينات الفعالة operator



شكل (14 ـ 11) نموذج للتنظيم الجينى لدى تخليق الانزيمات

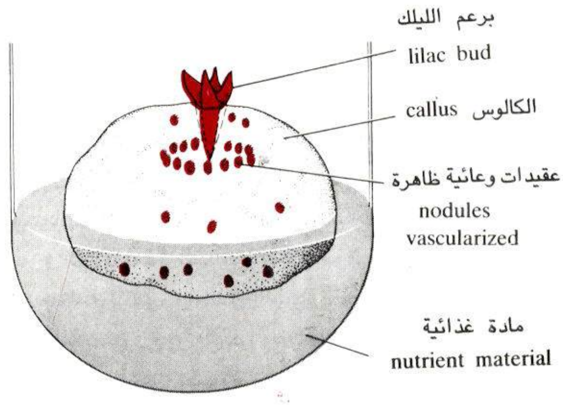
genes ، والجينات المنظمة regulator genes . وقد يتحكم الجين الفعال فى نشاط احد الجينات التركيبية ، او فى غالب الاحيان ، فى سلسلة من هذه الجينات التى توجد بجواره على الكروموسوم (شكل 14ـ11).

وطالما ان الجين الفعال ليس فى حالة مثبطة (معوقة) فإن الجينات التركيبية التى تصحبه تصبح قادرة على انتاج RNA ـ الرسول messenger RNA ، الذى يعتبر اشارة البدء لانتاج الانزيمات . وقد يقع الجنين المنظم على مسافة ما من المجمع الكروموسومى فى الخلية . ويتحكم الجين المنظم فى الجين الفعال ، وبالتالى يحول دون تكوين RNA ـ الرسول . الا ان الجين الفعال قد يكون فى حالة نشطة (غير معوقة de – repressed) وفى هذه الحالة يظهر فى السيتوبلازم احد نواتج عمليات التحول ، ويطلق على هذا الناتج اسم المؤثر Inducer . وقد يكون هذا المؤثر هرمونا ، او بعض المواد الغذائية البسيطة مثل السكريات ، ويتحد المؤثر بالمعوق ليوقف تأثيره. عندئذ ينشط الجين الفعال (يصبح غير معوق)، الذى يسمح بدوره للجينات التركيبية ، حيث يتحكم فيها ، بالعمل لانتاج الانزيمات ، ولا يسعنا حينئذ الا ان نستنتج ان عمل الجينات المنظمة ، اما بمفردها او بالتئامها بالمؤثرات . هو الذى يحدد بداية النشاط الانزيمى ، كما يحدد الفترة الزمنية التى يعمل اثنائها وبهذه الطريقة يتم الى حد كبير تنظيم اشكال ووظائف الخلايا .

وهناك من التجارب العملية مايوضح هذا التحكم الجينى . وفى هذه التجارب تغذى البكتريا بغذاء جديد من المواد الكربوهيدارتية . فإذا وجد الجين اللازم ، كونت هذه البكتريا الانزيمات التى تحتاج اليها ، وذلك لهضم هذا الغذاء الجديد . وفى هذه الحالة ، يبدو ان الغذاء الجديد يعمل كمؤثر فيؤدى الى عدم اعاقة الجينات المناسبة ، وبالمثل دلت التجارب التى اجريت على كل من الحيوان والنبات على نشاط جينات معينة بفعل الهرمونات ، وحينئذ يتكون RNA ـ الرسول وبالتالى تصبح الانزيمات الناتجة مسئولة عن التأثير الفسيولوجى للهرمون .

والخلاصة ان الخلية التى وصلت الى مرحلة التمايز الكامل لم تصل اليها بفعل امكانياتها الوراثية فحسب ، ولكن بسبب موضعها داخل النبات ، وكذلك نوعية وظروف الوسط الذى توجد فيه . وهذا بدوره يؤدى الى تنشيط فئة معينة من الجينات ، وتشمل ظروف الوسط : ضغط الخلايا الاخرى وتجهيز الخلايا بغذاء من السكريات والبروتينات ، ووجود هرمونات النمو التى تتكون داخل الخلية او تنتقل اليها من الخلايا المجاورة عبر الشرائط البروتوبلازمية ، وتركيز ثانى اوكسيد الكربون ، وامداد الخلايا بغاز الاوكسجين اللازم لها . ودرجة تركيز ايونات الهيدورجين PH للعصير الخلوى ، ووجود او غياب عدد من المواد العضوية وغير العضوية . ويعتقد ان هذه التغيرات فى الوسط تؤثر على الجينات ، التى تؤثر بدورها على الانزيمات التى تتحكم فى التفاعلات الكيميائية . وهذه التفاعلات الكيميائية تتحكم بدورها فى عملية تكوين الخلايا ، وذلك بانتاج مؤثرات معينة ، او من المحتمل ان تقوم المواد الكيميائية ذاتها بعمل المؤثرات .

ومع ان معظم الادلة على عمل الجينات كمنسق تنظيمى قد جاءتنا عن طريق تجارب اجريت على الكائنات الدقيقة ، إلا انه تبين بوضوح ايضا وجود هذه الجينات المنظمة فى النباتات الراقية . ومما يسترعى التأمل ماعرف من ان الجين الواحد من الجينات المنظمة قد يؤثر على عدد غير قليل من الجينات التركيبية . ونتيجة لذلك قد يمتد تأثير الباعث الواحد فيشمل جانبا كبيرا من عملية التكوين . واغلب التغيرات التى تؤدى الى عملية التكوين هى من النوع الذى يمتد تأثيره على المدى الطويل . مثال ذلك بداية الورقة التى



شكل (14 ـ 12) توليد النسيج الوعائي بتطعيم برعم الليلك في كالوس callus نفس النوع lilac (Syringa vulgaris)

يتم فيها تحديد عملية التكوين ، فتستمر الورقة فى تكوينها كورقة بالرغم من عزلها عن باعث هذه العملية . فلا مفر اذن من فرض وجود آلية لتفسير استمرار عمل المؤثر (الباعث او العائق) او عدم استمراره اذا ما استبعد . وقد افترض وجود جين خاص او مجموعة من الجينات تعمل بصورة مستمرة على انتاج هذا الباعث inducer stimulus (المؤثر) فى سيتوبلازم الخلية . وبهذا الغرض يتحقق امتداد تأثير الباعث . ومع ذلك فقد يشمل هذا التنظيم الجينى آليات اخرى .

تجارب على التمايز الوعائي:
Experiments on Vascular Differentiation

لم يتبين بعد بطريقة مباشرة، الدور الذى يلعبه التنظيم الجينى فى عملية التمايز داخل النبات، ولكن دلت التجارب على وجود مواد معينة ذات طبيعة هرمونية قادرة على إحداث أنواع معينة من التمايز. فمثلا تبين من تجارب التطعيم grafting، التى اجريت على نسيج الكالوس callus tissue وقد أمكن الحصول على هذا النسيج من كامبيوم نبات الليلك lilac (syringa vulgaris) اشتراك الاوكسين فى تمايز الانسجة الوعائية. وكان الكالوس فى البداية خاليا من هذه الانسجة الوعائية وليس به غير خلايا برانشيمية متجانسة. فبعد نزع الاوراق الحرشفية من قاعدة احد براعم نبات الليلك وتقليمه على شكل وتد، ثم وضعه كطعم، فى حز على شكل حرف V على السطح العلوى لنسيج الكالوس، وعند التئام الطعم، برزت الاوراق وانبسطت، كذلك استطالت السلاميات وبعد حوالى 20ـ30 يوما ظهر فى نسيج الكالوس على جوانب الطعم عقد صغيرة من الخلايا النشطة المنقسمة. ثم ظهرت عقد اخرى اسفل قاعدة الطعم، ولكنها كانت مرتبة فى دائرة عمودية على محور البرعم المطعم (شكل 14ـ12) وتتمايز تدريجيا خلايا كل هذه العقد لتصبح عناصر وعائية. وبعد 50 ـ55 يوما تمايزت المنطقة الدائرية تمايزا تاما فكونت خشبا نحو الداخل ولحاءا نحو الخارج ووجدت أحيانا طبقة شبيهة بالكامبيوم بينهما نتج عنها نضج خلايا تشبه الكامبيوم. ويظن أن هذه العقد قد تشكلت اما تحت تأثير حافز من الاوكسينات يختص بعملية النشوء، او تحت تأثير مركبات اخرى انتقلت الى أسفل من البرعم النامى. وحينما بلغ عمر الكالوس 50 يوما أضيف الى العقد الاولى عقد اخرى اكبر منها ولكنها عشوائية فى نظامها، وقد ظهرت هذه العقد تحت الدائرة الاصلية من العقد. وربما تكونت هذه العقد الاخيرة نتيجة لزيادة انتاج الاوكسين بنمو البرعم واتساع الاوراق.

وفى أجزاء أخرى على سطح نسيج كالوس الليلك تم وضع قطعة من الآجار التى تحتوى على حامض الخليك بدلا من البرعم. وفى هذه التجربة ايضا تكونت عقد دائرية، ثم تمايزت هذه العقد الى عناصر وعائية، وفى تجارب أخرى وجد أنه كلما زاد تركيز هذا الاوكسين كلما زاد قطر الدائرة التى تنتظم فيها العقد، كما ترى فى المقطع العمودى. وهذا مايدعو الى الاعتقاد بوجود تركيز مثالى يشجع عملية التكوين. ومن المظاهر الجديرة بالاهتمام فى هذه الدراسة، أن إضافة السكروز الى حامض اندول الخليك فى قطعة الآجار تعمل الى حد كبير على تشجيع عملية تكوين الانسجة الوعائية. ويبدو أن تأثير الاوكسين يتوقف على مدد مناسب من المواد السكرية وتشير مثل هذه التجارب بوضوح الى وجود حوافز معينة فى خلايا النبات الكامل، ومن النوع المشار إليه فى التجارب السابقة، وذات تأثيرات بعيدة المدى، بحيث يقع النبات تحت هذه التأثيرات فى أطوار معينة من عملية تمايزه.

الاقتدار الكلى للخلايا: The Totipotency of Cells

إن كان الرأى الذى ينادى بوجود جيل معين خاص بعملية التكوين صحيحا، فإنه لاضرورة لغرض وجود تغير جينى أساسى فى الخلايا المتمايزة، يستنتج من ذلك أن الخلايا المتمايزة اذا ما استحثت على النمو ثانية ظهرت بالضرورة مقدرتها الكامنة وربما تصل هذه المقدرة حدا تتمايز به الى نباتات كاملة وبعبارة اخرى يلزم اعتبار هذه الخلايا ذات اقتدار كلى. فالخلايا التى تنتمى الى الخلايا الخضرية الحية والتى تتوقف فيها عملية الانقسام، تكون تركيبات تشبه الأجنة التى تنشأ من البويضة الملقحة. اذا ماتجدد هذا الانقسام تحت ظروف معينة وقد أمكن توضيح ذلك بصورة ملفتة فى نبات الجزر. سواء البرى منه او المنزرع. ففى مجموعة من التجارب نزعت قطع صغيرة من اللحاء الثانوى لجذر نبات الجزر التى تختزن الغذاء وتعتبر هذه الجذور من الوجهة الفسيولوجية مكونة من خلايا ناضجة لاتقوم بأية انقسامات اخرى تحت الظروف العادية. وقد أمكن استحثات النمو فى خلايا هذا النسيج اذا احتوى وسطه الغذائى على مواد منظمة للنمو. وافضل السبل للحصول على هذه المواد هو اضافة حليب جوز الهند، وهو فى حد ذاته سويداء يساعد الجنين على النمو بصورة طبيعية.



شكل (14ـ13) تكون نبات الجزر من خلية واحدة

(ا) خلية حرة معلقة ، استخرجت من سطح كالوس لحائى Phloem callus

(ب) جنين كروى نتج عن نمو خلية منفردة فى معلق من اصل جنينى .

(جـ) اجنة تظهر فيها بدايات فلقية (فلقات اولية) نشأت من معلق اصله من اعناق الاوراق .

(د) اجنة تكامل نموها .

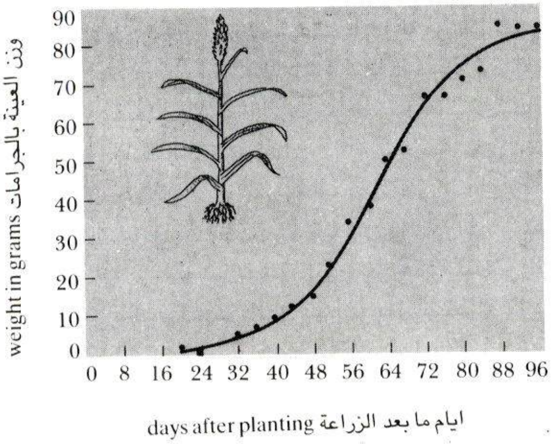
(هـ) نبات الجزر نما من جنينه فى دورق سعته لتر واحد

وفى هذا النوع من الوسط الغذائى السائلى نمت أنسجة اللحاء، ولكن بصورة غير منتظمة وكونت نسيج الكالوس. ويبين (الشكل 14 ـ 13أ) خلية واحدة من هذا النسيج طافية بصورة سائبة على سطح الوسط الغذائى. وتنمو هذه الخلايا، كل خلية على حدة، الى كتل عقدية صغيرة تبرز منها الجذور واذا مانقلت هذه الكتل الى وسط غذائى صلب فانها تكون سيقانا تتصل بالجذور وقد أمكن زرع هذه النباتات الصغيرة النامية فى التربة. وأمكن ايضا الحصول على نباتات كاملة قادرة على انتاج ازهار وبذور. ولقد تبين من بحوث اخرى ان الخلايا التى أمكن الحصول عليها بالطريقة التى سبق وضعها، قد كونت احيانا تراكيب (اشباه اجنة) embryoids، تشبه كثيرا الاجنة الطبيعية للنباتات والخلايا الطافية على الوسط الغذائى السائلى التى تنتمى الى أجنة نبات الجزر البرى(Carrot (Daucus carota تنتج اعدادا وفيرة من أشباه الاجنة اذا مانقلت الى وسط غذائى صلب. ولاتقتصر هذه الظاهرة على الخلايا التى لها أصل جنينى فقط، بل انها قد لوحظت ايضا فى مزارع من أنسجة جذور وأعناق الاوراق لنبات الجزر البرى، كما لوحظت فى نباتات اخرى. وكثير من هذه الخلايا تنمو لتكون مستعمرات كروية globular colonies (شكل 14ـ13 ب) واذا ما استمر النمو استطالت أشباه الاجنة وحملت بدايات للفلقات (شكل 14ـ13 جـ) وعلى أشباه الاجنة التامة التكوين يتم تكوين الفلقات بصورة واضحة (شكل 14ـ13د) ويبين الشكل (14ـ13هـ) نبات جزر صغير نام من مثل هذه التراكيب من أشباه الاجنة وتؤيد هذه التجارب أحد الآراء الهامة التى تفرض وجود تنظيم جينى فى عملية التمايز.

قياس النمو: Measurement of Growth

مانعلمه عن عملية التكوين وطرق التحكم فيها يتعلق معظمه بعملية النمو-ويوجد من المعلومات الجوهرية مايشير الى تأثير البيئة على عملية النمو. ومعظم هذه العمليات لها قيمتها التطبيقية والعملية.وتوجد عدة طرق لقياس نمو النبات.

واحدى هذه الطرق هى قياس الزيادة فى وزن النبات الغض أى الاخضر. ونعتمد على هذه الطريقة طالما كان النبات غضا ناميا. وقد نعتمد على قياس النمو بالزيادة فى



شكل (14ـ14) زيادة الوزن فى الاجزاء الهوائية من نمو نبات الذرة البيضاء sorghum (Sorghum vulgare)
يمثل الخط المتصل المنحنى النظرى السينى ، بينما يمثل الخط المنقط الوزن الحقيقى لعينات النبات المنفردة .

الوزن الجاف للنبات، أى بوزن المادة المتبقية من جسم النبات بعد انتزاع الماء منه. وقد تخدعنا مثل هذه البيانات حيث ان النبات الذى اكتمل نموه (اكتمل حجمه) قد يزيد وزنه الجاف اذا مااستمر فى القيام بعملية البناء الضوئى، التى بها يتراكم النشاء وغيره من المواد المخزنة.

وقياس الطول او الارتفاع يعتبر غالبا من الطرق الملائمة لقياس عملية النمو، حيث إن هذه القياسات توضح هذه العملية بصورة مجدية. وتشير مثل هذه القياسات الى اختلاف معدل النمو باختلاف عمر الكائن الحى. ويتبين ذلك بوضوح اذا ماأخذت القياسات على نبات حولى مثل نبات الذرة او نبات البازلاء حيث فترة الحياة فيهما محددة. ففى البداية يكون معدل النمو بطيئا ثم يزداد تدريجيا حتى يصل الى اقصاه. وبعدها يبدأ فى النقصان. فمثلا فى الرسم البيانى الذى يبين الزيادة فى طول النبات فى فترة زمنية معينة أمكن الحصول على منحنى على شكل حرف S . ويمكن الحصول على نفس النتيجة بقياس الزيادة فى الوزن الغض (الطرى) للنبات الكامل (شكل 14ـ14) ويصعب تطبيق هذا النوع من التحليل الرياضى على النباتات المعمرة مثل الاشجار، حيث تتم الزيادة فى النمو فى سلسلة طويلة وعلى فترات موسمية.

وقد نحصل على نفس النتيجة، وذلك لما عرف من أن النمو فى أجزاء او اعضاء كل النباتات سواء منها الحولية او المعمرة يتبع نفس المنحنى السابق. وقد تم تسجيل ذلك فى حالات كثيرة مثل استطالة السلاميات. كل سلامية على حدة. والزيادة فى مساحة الاوراق والنمو فى قطر الثمار وكذلك استطالة السويقات تحت الفلقية فى البادرات. وتشير القياسات الى ان الخلايا نفسها تتبع مثل هذا المنحنى اثناء نموها. وعلى ذلك فالمنحنى الكلى للنبات يمثل محصلة الزيادة فى نمو أجزائه.

ويبدو أن الشكل العام لمنحنى النمو ثابت لكل النباتات التى تم بحثها. ولكن قد تنحرف او تشذ بعض القياسات نتيجة للتغيرات فى البيئة. ومع ذلك فقد تختص هذه الانحرافات بشكل المنحنى، ولكن بمقادير القيم المبينة فى الرسم البيانى. ويوحى انطباق منحنى النمو على كل النباتات بصورة عامة، ان مصدر تفسيره لايكمن فى العوامل الخارجية او البيئية التى تحيط بالنبات بل تختص به عوامل داخل النبات ولم تعرف بعد طبيعة هذه العوامل وبواعثها.

تنظيم النمو: Growth Regulation

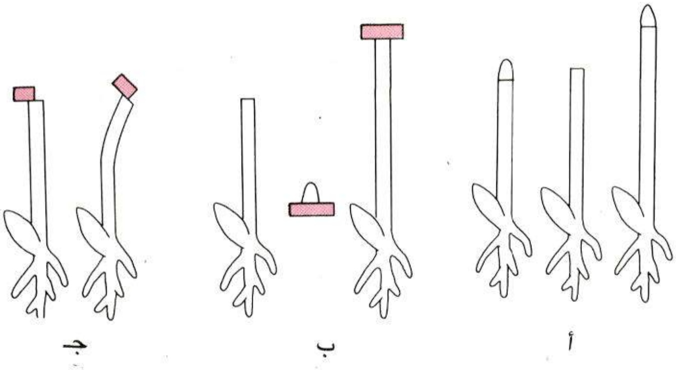
توحى عملية نمو النبات بأنها عملية تقع تحت تأثير نظام دقيق ومحكم نوعا ما. ويعود هذا النظام فى مجموعه الى نشاط مواد كيميائية تعرف باسم الهرمونات النباتية plant hormones ويمكن تعريف هذه المواد بأنها مركبات عضوية ينتجها النبات وتعمل بمقادير ضئيلة، وتنقل خلايا جسم النبات، وتؤثر على عملية النمو كما تؤثر على غيرها من العمليات الفسيولوجية سواء فى المناطق التى أنتجتها او فى مناطق اخرى. وتستهلك الهرمونات أثناء عمليات التحول الغذائى، ولذلك يلزم تجديدها اذا مااستمر تأثيرها. وعلى ذلك فقد يتوقف النمو فى احد اجزاء النبات على النشاط الخلوى لجزء آخر منه. فالهرمونات هى الوسيلة التى تربط بين اجزاء الكائن الحى، فيبدو كوحدة متكاملة موحدة وذلك نتيجة لترابط وتعاون خلاياه بدلا من سلوكها كوحدات مستقلة. وبالرغم من أن الهرمونات تتميز بصفة أساسية، بقدرتها على تنشيط عملية النمو الا أنها تحت ظروف خاصة وبتركيزات معينة قد تعمل على تثبيط او إعاقة النمو.

ويمكن تقسيم الهرمونات الى ثلاث مجاميع رئيسية هى الاوكسينات auxins والجبريلينات gibberelline والسيتوكينينات cytokinins ومن البديهى ادراج مواد اخرى كثيرة مثل المواد المغذية ، وحتى الماء ، ضمن المواد التى تعمل على تنشيط عملية النمو ، ولكن يلزم التفرقة بين هذه المواد وبين الهرمونات التى تعمل على استحثاث النمو اذا ما وجدت بمقادير ضئيلة . اما مكانة الفيتامينات فانه يصعب نوعا ما تحديدها ، لان هذه المواد تعمل كذلك على تنظيم عملية النمو ، كما انها تعمل بمقادير ضئيلة للغاية . ومع ذلك فان هذه المواد لا تدخل ضمن الهرمونات التى تنظم عملية النمو ، بل تعتبر من العوامل الاساسية فى عمليات التحول الغذائى metaloblism . والنباتات الخضراء ، بخلاف الحيوانات ، قادرة على تخليق الفيتامينات اللازمة لعملية النمو ، الا ان الانسجة والاعضاء النباتية المفصولة مثل الجذور تحتاج لاضافة الهرمونات فى اوساطها الغذائية وذلك لكى يكتمل نموها . وقد عرف منذ مدة طويلة ان النباتات تحتوى ، بالاضافة الى العوامل المنشطة لعملية النمو ، على مواد مثبطة inhibitors لهذه العملية . ومن امثلة هذه المواد الاثيلين ethylene ، وحامض الابسيسك abscisic acid ، التى تبين بالتجربة انها تتفاعل مع الهرمونات المنشطة للنمو ، وهى فى حد ذاتها طبيعة هرمونية .

وللهرمونات النباتية ، سواء منها المنشطة او المثبطة ، ضروب شتى من التأثيرات . ونتيجة لهذا التعقيد يصعب تحديد كيفية عملها على وجه الدقة . وفى بعض الحالات ، يوجد من الادلة القيمة ما يفيد بان هرمونات معينة ترتبط مباشرة بالجينات ، اى ان هذه الهرمونات تقوم بعملهاعلى المستوى الجينى ، خصوصا فى المواضع التى يتم فيها تخليق الـ(RNA). ولا يوجد ما يؤكد باى حال من الاحوال ، ان الهرمونات تعمل عند هذا المستوى ، بل ان احتمال عملها عند مستويات اخرى فى الآلية الخلوية قائم بنفس الدرجة .

الاوكسينات Auxins

تعتبر الاوكسينات من الهرمونات النباتية التى درست على نطاق واسع . ومعنى هذا الاصطلاح باللغة اليونانية القديمة



شكل (14_15)

تجارب على نمو غمد الرويشة coleoptile فى نبات الشوفان

Oat (Avena sativa)

أ ـ ازيل الطرف ثم اعيد بعد ذلك بفترة فاستؤنف النمو .
ب ـ انتقل هرمون الاوكسين من القمة الى قطعة الآجار agar التى وضعت بعد ذلك على النبات بدلا من قمته فاستؤنف النمو من جديد .
جـ ـ قطعة آجار تحوى هرمون الاوكسين وضعت بحيث تغطى جزءا من مقطع النبات مما سبب انحناء النبات (نما الجانب المغطى من النبات).

(زيادة)، ولذلك اطلق الاصطلاح المذكور على الهرمونات التى تعجل عملية النمو فى الخلايا بالاسراع فى كبرها فى الحجم . وقدتعمل هذه الاوكسينات ايضا بالتئامها مع غيرها من الهرمونات على استحثاث الانقسام الخلوى ، كما تعمل على احداث تغيرات اخرى فى الخلايا . والاوكسينات قادرة على استحثاث او تثبيط عملية النمو حسب التركيزات والظروف المختلفة . فتركيز الاوكسين الذى ينشط النمو فى الساق مثلا يعمل عادة على اعادة النمو فى الجذر . وتعمل الاوكسينات على الحفاظ على شكل النبات نتيجة لسيادة البرعم الطرفى (الفصل الثانى)، وانشاء جذور على قواعد السيقان التى قطعت على شكل عقل ، كما تعمل على تمايز الانسجة الوعائية . وكل هذه التأثيرات وغيرها هى بلا ريب نتيجة لاشتراك الاوكسينات مع غيرها من الهرمونات . فقد امكن لحد ما عزل تأثير الاوكسين ، وتبين ان الدور الاساسى له هو استحثاث الخلايا على الكبر خصوصا على الاستطالة . ويبدو انه فى حالة استحثاث الخلايا على النمو ، تعمل الاوكسينات على زيادة مرونة الجدار الخلوى ، بحيث يعمل الضغط الانتفاخى على تكبير الخلايا . اما تحديد الوسيلة التى بها يصير الجدار الخلوى رخوا واكثر مرونة فهو مثار جدل كبير .

وقد امكن بالطرق التجريبية لاسيما على بادرات النجيليات ، خصوصا الشوفان دراسة تأثير الاوكسينات على الاستطالة . فالبادرة الصغيرة التى تخرج من حبة شوفان التى تم استنباتها تحتوى على غلاف مدبب (الغلاف الورقى) coleoptile يحيط بالبرعم الطرفى والاوراق الخضراء . ويعتبر هذا الغلاف الورقى بمثابة «حيوان التجربة» الذى به امكن الحصول على ما نعلمه عن هرمونات النمو . فقد عرف منذ مدة طويلة انه لكى يستطيل الغلاف الورقى ، وكذلك الساق التى تقع اسفله ، يتحتم وجود الطرف النهائى لهذا الغلاف . فاذا ما فصل هذا الطرف فان نمو هذه الاجزاء يتباطأ الى حد كبير ، ويستمر هذا التباطؤ فترة قد تبلغ عدة ساعات ، بعدها يقوم طرف الساق المقطوع قمته بالوظيفة الفسيولوجية لهذا الطرف المفصول وانتاج الاوكسين . ولا يتوقف نمو هذه الاجزاءاذا ما لصق هذا الطرف ثانية بجيلاتين دافىء شكل : (14_15 أ).

ولكى نثبت ان المواد الذائبة المنظمة للنمو قد تم انتاجها فى القمة ، ينزع طرف الغلاف ويوضع على سطح قطعة صغيرة من الآجار المتصلب ، ثم يستبعد هذا الطرف وتوضع قطعة الآجار على قمة غلاف ورقى سبق استئصال قمته ، فيتجدد نمو هذه القمة ثانية شكل : (14_15ب). ولا يحدث اى نمو اذاما استعمل للمقارنة قطعة اجار نقية وخالية من الاوكسين . واذا وضعت قطعة الاجار التى تحتوى على الاوكسين على احد حواف الغلاف الورقى الذى سبق ان استئصل طرفه ، انحنى هذا الغلاف اثناء نموه . ويدل ذلك على ان النمو فى الجانب الذى تحت قطعة الاجار مباشرة اسرع مما فى الجانب الاخر شكل : (14_15جـ). وقد استغلت هذه الطريقة فى تقدير كمية الاوكسين فى قطعة

الاجار وذلك لان درجة الانحناء تتناسب عادة مع تركيز الاوكسين الموجود فى قطعة الاجار .

والافتراض الخاص بانتقال مواد النمو فى النبات يرجع تاريخه الى عام 1880 . ففى عامى 1910 ، 1928م تأيد وجود هذه المواد بتجارب تشابه التجارب التى سبق وضعها . ومنذ عام 1928م ، والبحوث الاساسية على هذه المواد مستمرة . وقد تم فصل الاوكسين من الاعضاء النامية مثل البذور المستنبتة والبادرات والسيقان النامية ، كما تم فصله من البذور السابتة وحبوب اللقاح . وكان الاوكسين فى معظمها فى حالة غير نشطة او فى حالة اتحاد مع غيره من الهرمونات .

وقد تم فصل عديد من الاوكسينات احدهاهو اندول حـامض الخليـك indoleacetic acid (IAA) شكل :(14ـ16 أ). وهذا الاوكسين واسع الانتشار ، وقد امكن تخليقه . وبالاضافة الى الاوكسينات الطبيعية ، يوجد عدد كبير من المركبات العضوية التى لها مثل الخواص التى لمنظمات النمو . وهذه المركبات العضوية بخلاف هرمونات النمو التى يتم تكوينها فى النبات تشمل اندول حامض البربيونيك indolepropionic acid واندول حـامض البيوتيرتك indolebutyric acid ، ونفتالين حامض الخليك naphthalene acetic acid شكل :(14ـ16د) ولان الاوكسينات الطبيعية لايمكن الحصول عليها الا بكميات ضئيلة فقط فان اكتشاف مواد النمو المخلقة ، كان له اثره الكبير فى اجراء بحوث عديدة على نمو النبات . وفضلا عن ذلك فقد استغلت هذه المواد المخلقة فى الزراعة ومحاصيل الفاكهة .

الجبريلينات Gibberellins

منذ عدة سنوات تم فى اليابان اكتشاف مجموعة من مواد النمو اثارت انتباه العالم . وهذه المواد ينتجها الفطر الذى يسبب مرض «البادرات الطائشة» Foolish Seedling فى الرز والمعروف باسم Gibberella fujikuroi ، ولذلك سميت هذه المواد بالجبريلينات شكل : (14ـ16 ب) وهذه المواد رخيصة الثمن وغير سامة نسبيا ، ولذلك يمكن استعمالها فى انواع عديدة من التجارب سواء بالرش او على هيئة نقط صغيرة توضع على اجزاء معينة من النبات . وقد تم عزل هذه المواد كمكونات طبيعية من اجزاء نباتية عديدة . وتعمل هذه المواد ، مثلها فى ذلك مثل الاوكسينات ، على استحثاث النمو سواء باستطالة الساق او بنشاط الاوراق وتأثيرها على النباتات ، ذات الطراز النجمى rosette ، مثير للغاية شكل : (14ـ17). وتتساوى فى هذه الاثارة قدرتها على تحويل الاصناف القزمية من بعض النباتات مثل البازلاء الى اصناف ذات احجام عادية . وتصنف الجبريلينات عادة ضمن المواد الحاثة على استطالة الخلايا ، ويبدو انها تؤدى هذه الوظيفة بالاشتراك مع الاوكسينات . ومع استحثاثها للتشمرخ bolting(اى تكوين شمراخ زهرى قبل اوانه). فى النباتات النجمية ، فانها تسبب ايضا زيادة هائلة فى قدرة الخلايا على الانقسام . ويدخل ضمن عمل هذه المواد ايضا قدرتها على الاسراع ببدء عملية الازهار فى النبات ونمو الثمار الصغيرة وانهاء فترة السبات وكذلك تمايز الانسجة الوعائية المشتقة من الكامبيوم . ويعتبر اكتشاف دور الجبريلينات فى انبات حبوب الغلال فصلا ممتعا فى تاريخ هرمونات النمو . فتحرر الجبرلين من جنين حبوب مستنبتة من الشعير ، يستحث اخر طبقة من السويداء (الاندوسبـرم) (طبقة الالـيرون aleurone) على تكوين الانزيم الذى يحلل النشاء تحليلا مائيا وهو انزيم الفا ـ اميليز amylase وهذا بدوره ييسر للجنين النامى الانتفاع بالنشاء المخزون فى الاندوسبرم . ويعتقد ان تأثير الهرمون هو الحث على تخليق الـ RNA الرسول الذى يختص بانتاج الانزيم .

السيتوكينينات Cytokinins

تقوم السيتوكينيات شكل : (14ـ16جـ)، اذا قورنت بالاوكسنات والجبريلينات اساسا بحث الخلايا على الانقسام . ومع ذلك يبدو ان عملها هذا سيتم بالاشتراك مع الاوكسينات ففى المحاليل المغذية التى تحتوى على مقادير كافية منها بالاضافة الى اندول حامض الخليك ، تكبر الخلايا بدرجة كبيرة دون ان تنقسم . اما اذا اضيف الى هذا الوسط الغذائى مادة السيتوكينين فهذه الخلايا مع كبرها فى الحجم تصبح قادرة على الانقسام . ويقل تأثير السيتوكينين فى غياب

شكل (14ـ16) (اليسار) التركيب الكيميائى لبعض هرمونات نباتية والمواد المنظمة للنمو .

(أ) بيتا ـ اندول حامض الخليك (B – indoleacetic acid (IAA

(ب) حمض الجبريليك gibberellic acid GA^3

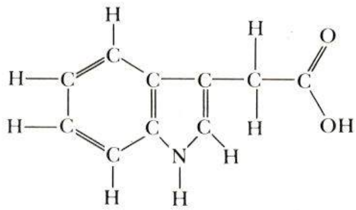
(جـ) السيتوكاينين (a cytokinin (6 - furfurylamino Purine

(د) حامض الدايكلوروفينوكس حامض الخليك

2,4 – dichlorophenoxy acetic acid - 2,4-D)

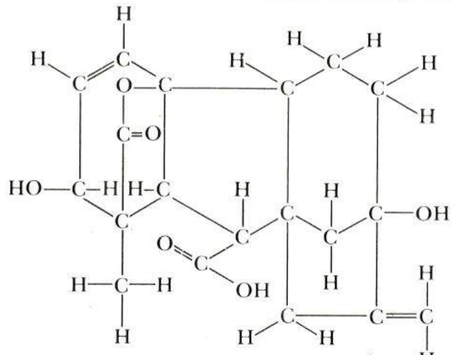
(هـ) نفتالين حامض الخليك

naphthalene - acetic acid (NAA)



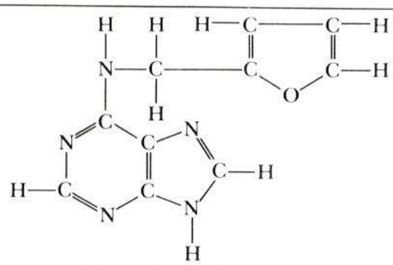
β—indoleacetic acid (IAA)

(أ)



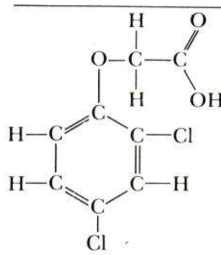
gibberellic acid (GA_3)

(ب)



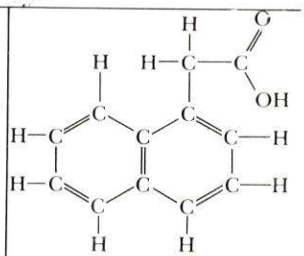
a cytokinin (6—furfurylamino purine)

(جـ)



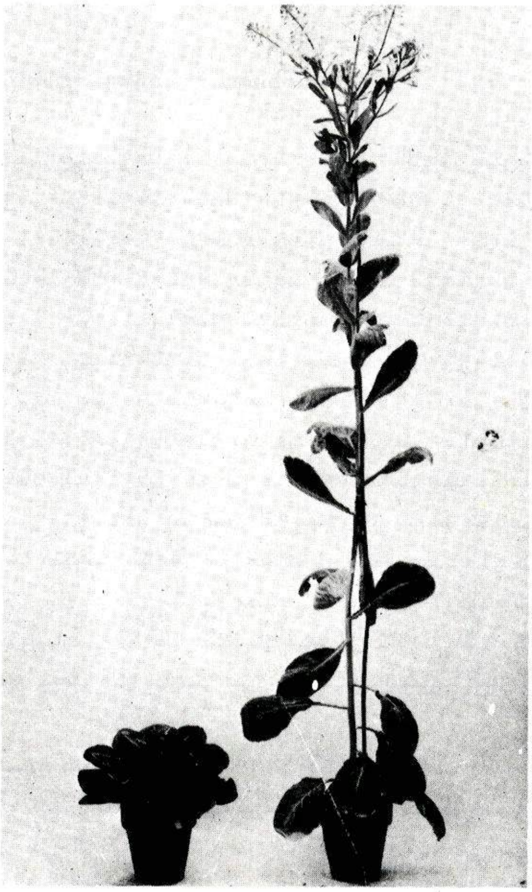
2,4—dichlorophenoxy-acetic acid (2,4-D)

(هـ)



naphthalene-acetic acid (NAA)

(د)



شكل (14ـ17) تأثير حمض الجبريليك (GA) على نمو الكرنب

(اليسار) غير معامل

(اليمين) مرشوش عدة مرات بـ 0.1٪ من حامض الجبريليك - gib berellic acid (GA)

الاوكسين . وقد ثبت وجود السيتوكينينات ضمن المكونات الطبيعية للانسجة النباتية ، ومن اغنى مصادرها الثمار الصغيرة وانسجة الاندوسبرم . ووجود الاندوسبرم له مغزاه الواضح حيث يعتبر وسطا للجنين النامى وامداده بما يلزمه من عوامل فعالة لنموه . واحتواء المادة الحليبية فى جوز الهند على السيتوكينينات هو بلا ريب من اهم العوامل فى مقدرة هذه المادة على حث الخلايا على الانقسام اذا ما اضيفت اليها وهى فى حالة ناضجة غير قادرة على الانقسام . وهذا يذكرنا بالخطوة الاساسية التى اوضحت ظاهرة الاقتدار الكلى للخلايا المتمايزة .

المعوقات (المثبطات) : Inhibitors

اهتم الباحثون بالمواد الموجودة فى انسجة النبات بصورة طبيعية والتى لها تأثير مثبط inhibitory effect على عملية النمو . وبلغ هذا الاهتمام مداه باكتشاف حامض الابسيسيك abscisic acid وخواصه . وقد تم اكتشاف هذا الهرمون اولا فى ثمار القطن حيث يحث على تساقطها بعد نضجها . وبعدها اكتشف بصفة مستقلة فى اوراق نبات القان حيث يسبب سبات براعمه، ولم يتبين ان المسبب فى الحالتين هو نفس المادة الا بعد فصلها واختبار خواصها . والاعتقاد السائد الآن هو ان حامض الابسيك يعد واسع الانتشار فى النبات. كما تبين انه يعمل على تثبيط مختلف عمليات التكوين وتشمل نمو النبات فى الطول وكذلك انبات البذور . وفى حالات متباينة يضاد تأثيره فعل الاوكسينات والجبريلينات ، او السيتوكينينات كما ان تأثيره المثبط قد ينعكس بفعل الهرمونات التى تعمل على تنشيط النمو .

ويعتبر غاز الاثيلين ethylene اعظم الهرمونات المثبطة اثارة ودهشة. فقد عرف منذ عدة سنين تأثير الاثيلين فى حث الثمار على النضج، كما عرف الآن تأثيره المثبط على نمو النبات فى الطول. ويبدو انه اذا زاد تركيز الاوكسين على حد معين حث ذلك على تكوين الاثيلين. وهذا بدوره يكبح جماح الاوكسين وتأثيره الزائد على عملية النمو. ويعد هذا مثالا آخر على التأثير المتبادل بين المواد المثبطة لعملية النمو والمواد المنشطة لها وذلك فى تنظيم نمو النبات .

بعض استخدامات منظمات النمو : Some Uses of Growth Regulators

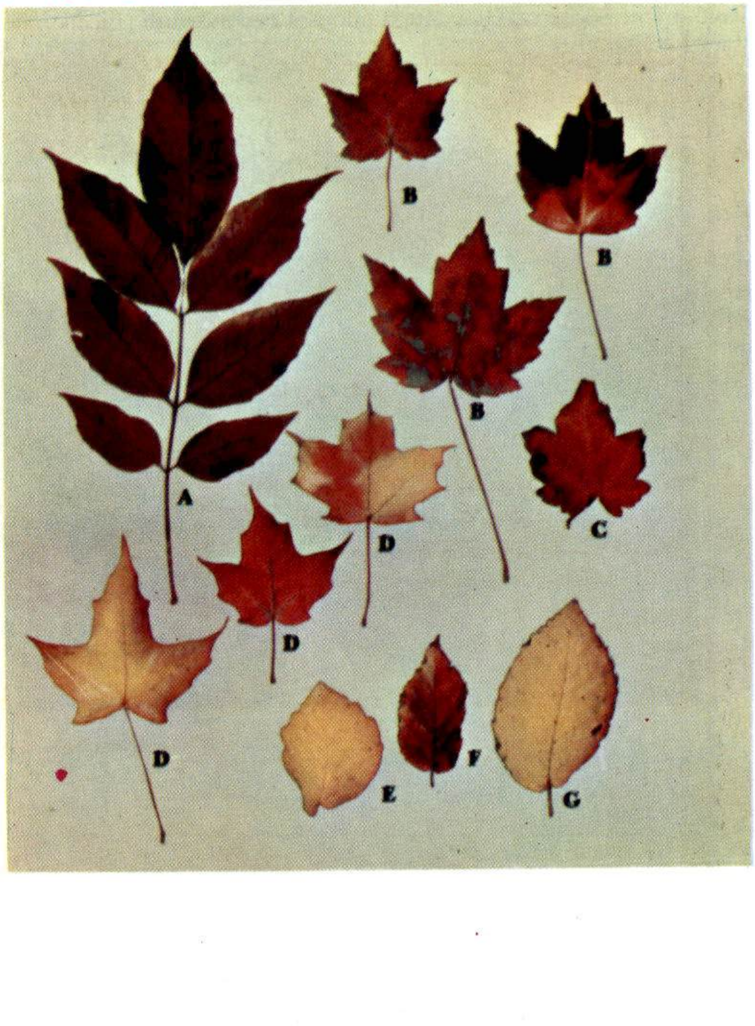
فى العصر الحديث زاد الاقبال على مواد النمو المصنعة أى المخلقة خصوصا فى مجال مقاومة الحشائش ففى التركيزات العالية تعتبر هذه المواد سامة لكثير من انواع النباتات . فالمادة المعروفة باسم 2,4 dichlorophenoxyacetic acid او الاسم الاكثر شيوعا له وهو 2,4-D (شكل 14 ـ 16 د) يستغل على نطاق واسع كقاتل للحشائش. ويستخدم هذا المركب وغيره من المركبات المشابهة بالتركيزات التى يكون لها تأثير انتقائى selective effect . وتقتل هذه التركيزات عادة النباتات ذات الاوراق العريضة سواء أكانت من نباتات ذوات الفلقة الواحدة او من ذوات الفلقتين بخلاف النجيليات التى لا تتضرر منها . ويعتبر تأثير (2,4-D) فعالا، وبخاصة اذا اريد التخلص من الحشائش غير النجيلية من المسطحات الخضراء وكذلك من حقول الذرة والقمح وغيرها من نباتات الغلال . ومن الحشائش التى يتم مقاومتها لهذه المادة الكيميائية الهندباء البرى او سن الاسد dandelion ، وحشيشة الخنزير pigweed ، وحشيشة الخرقة ragweed والخردل mustard والحشيش المتسلق bindweed ، والشبيط cocklebur ، والحلحل المائى water hyacinth . ومع ذلك يلزم اتخاذ جانب كبير من الحيطة اثناء استعمال هذه المواد الكيميائية الفعالة، لأنه عند استخدامها فى الرش او التعفير قد تحمل الى مسافات كبيرة بفعل تيارات الهواء وتسبب اضرارا سواء للمحاصيل الاخرى او للكساء الخضرى. وفى العصر الحديث الذى يزداد فيه الاهتمام بتلوث البيئة، فان امكانية تأثير هذه المواد على التربة والكساء الخضرى الطبيعى قد تم تقييمها بعناية .

وقد سبق شرح بعض استخدامات منظمات النمو النباتية فى فصول اخرى من هذا الكتاب فحث العقل على تكوين الجذور تضمنها الفصل الحادى عشر، واستخدام منظمات النمو فى انتاج ثمار غير بذرية قد تم تفصيله فى الفصل الثالث عشر .

وقد استغل التأثير المعوق للمواد المنظمة للنمو فى تجارب تهدف الى اطالة فترة السبات فى درنات البطاطس ومنعها بدرجة كبيرة من التزريع sprouting الذى يحدث



لوحة (رقم ـ 1) التباين فى المملكة النباتية : نباتات ذات الفلقتين (أشجار اليوكالبتس (eucalyptus tree) ذات الفلقة الواحدة لنبات (Xantharrhea preisii) grass tree ذات القربى بفصيلة الزنابق lilies غربى استراليا



لوحة (رقم ـ 2)

أوراق الخريف لبعض النباتات الخشبية فى شمال امريكا ويظهر بها بوضوح ماالتأثير صفات الانثوسيانين anthocyanin والكاروتينيات carotenoids .

(أ) شجر المران الابيض asd (fraxinus americana

(ب) القبقب الاحمر red maple (Acer rubrum)

(جـ) القبقب الجبلى mountain maple (aAer spicatum)

(د) القبقب السكرى sugar maple (Acer saccharum)

(هـ) بندق الجنيات (بندق الساحرة) Witch – harel (Hamamelis virginiana)

(و) الزان الازرق blue beech (carpinus caroliniana)

(ز) القان الاصفر yellow birch (betula lutea)

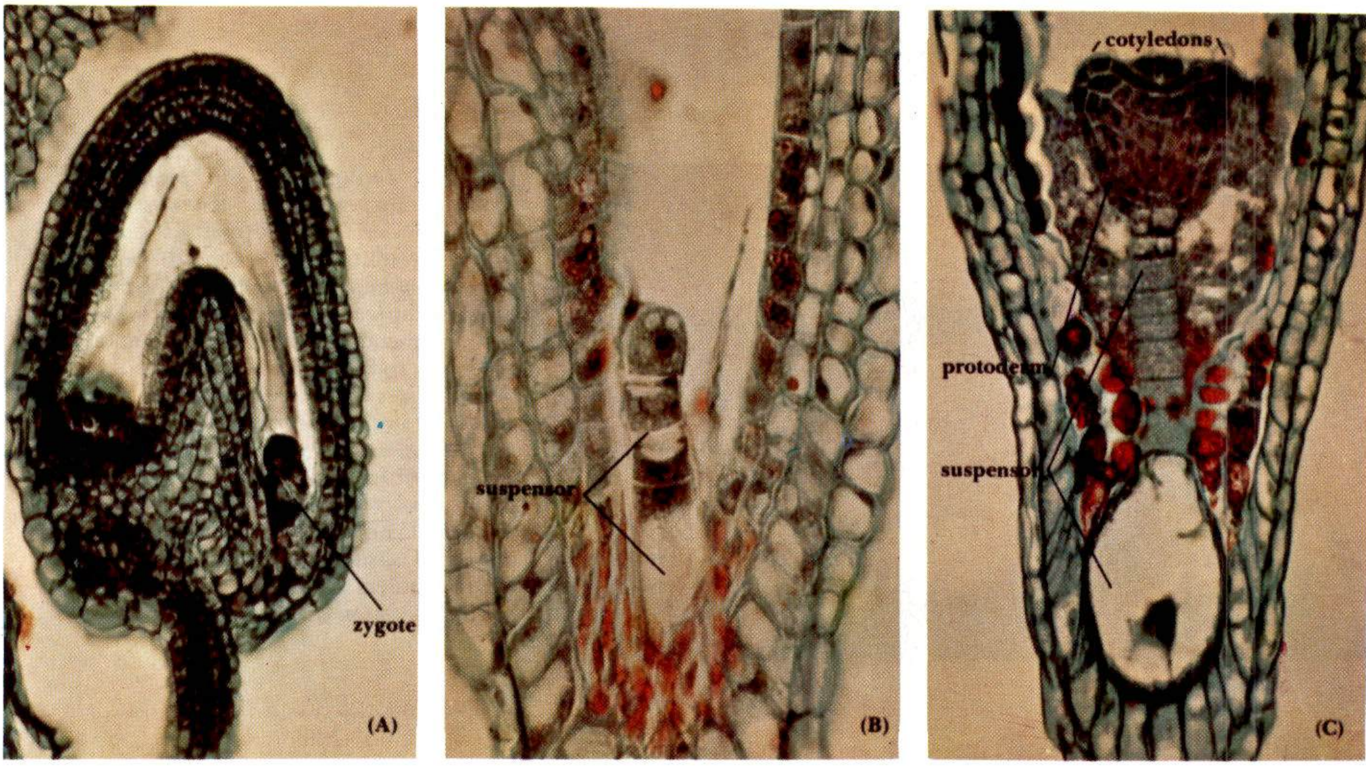


لوحة (رقم - 3) ورد النيل water hyacinth (Eichhornia crassipes) من النباتات المعمرة المزعجة ، فهو من الحشائش التى تعوم على سطح الماء وتتكاثر عن طريقى البذور والتكاثر الخضرى . أصله من امريكا الجنوبية . ولقد نزح الآن فغطى غالبية المياه الدافئة على الأرض من أنهار وبحيرات وخزانات مائية وحفر الصرف وقنوات الرى . ربما يعيق النبات الملاحة ويخرب حقل تربية الاسماك ومصادر المياه فى المنتجات ويفسد الرى ويعيق تشغيل المحطات الكهربائية . ربما يبلغ المفقود فى المياه بسبب أوراقه من 3 - 7 أضعاف المفقود بالبخر من سطح المياه بدون النبات . تبذل الجهود المكثفة للسيطرة عليه بالمبيدات . (الصورة فى ولاية فلوريدا) .



لوحة (رقم - 4)

زهرة وثمار نبات خشب الدم bloodwood (Dillenia alata) الثمار فى مراحل مختلفة من النضوج ، وتعرية البذور وظهور الكاربلات التى تتكون منها المدقة المركبة . معظم أنواع هذا النبات من أجناس أشجار المناطق الاستوائية فى العالم القديم .

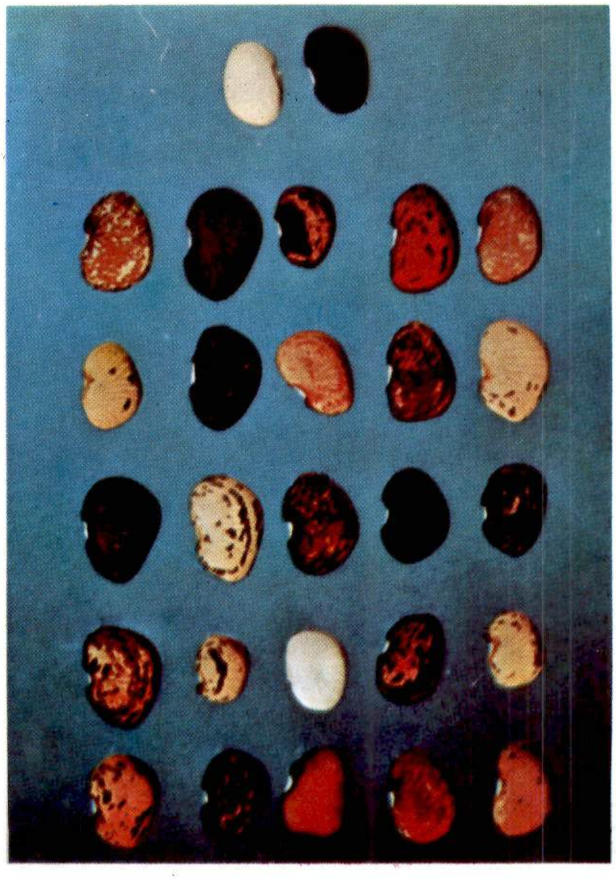


لـوحة (رقم ـ 5) تطـور نمـو جنـين كيس الـراعى shephered's purse (Capsella bursa pastoris)

(أ) قطاع كامل فى البويض ويوضح الزيجوت zygote قبل انقسامه الأول .

(ب) الجنين الخيطى ويظهر فيه المعلق suspensor بشكل واضـح عند القاعدة

(جـ) الجنـين ويوضـح المعلق كامـل النمـو وهـو منشـأ الفلقتـين cotyledons ومبـدأ تنظيم الأنسجـة . لقـد تضخمت كثـيرا الخلية القاعدية للمعلق



لوحة (رقم ـ 6) اختلافات موروثة من بذور فاصوليا الـ (Baby lima) لقد هجن نبـات الفاصـوليا ذات القشرة البيضـاء بنبات آخـر قشرة البذور فيه سـوداء ومن ثم انتجت ثمانيـة أجيال من هذا النبات الملقح ذاتيا وجاءت النتيجة مذهلة . لم تتشـابه فى اللـون أية بـذرتين من الجيـل الثامن فى اللـون ، ومـا الظاهر فى الصورة إلا مجموعـة منتخبة من التنـوع ، علما بان النباتات ظهرت بينها اختلافات أيضا .



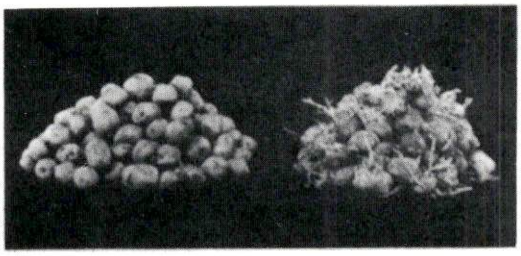
لـوحة (رقم ـ 7)

بيئـات غذائيـة لعفن التـربـة الـوردى (Neurospora crassa) ترجع الصـورة النوع العـادى (الأيسر الأعلى) وخمس طفـرات وراثيـة مختلفـة اللـون ، احتـوت الكاروتينويـدات كلها عـلى صفات الكـاروتينيات مـاعدا (الأعـلى الأيمن) فـاقـد اللـون ، الـذى خـلا من تلـك الصبغات .

الطفرة الوراثية الظاهـرة فى اليمين الأسفـل قد نتجت عن طفـرة بسبب نقص انـزيم ضرورى للتخليق البيـولـوجى للأدنين (أحـد مركبـات الاحماض النـووية) . ان تغيـر المسار التخليقى البيولوجى هذا قـد تسبب تراكم صبغـة ارجـوانية . أمـا الطفـرات الأربـع الأخـرى فنتجت عن كميـات غير عـادية من الكـاروتينويـدات . ان كـل هـذه الطفرات الوراثية لايمكنها النمو الا باضـافة الأدنـين الى البيئة .

لوحة (رقم ـ 8) حقل من نبات الخشخاش الكاليفورنى california poppy (Eschscholtzia californica) ومـوطنـه الشمـال الغربى الامريكى . يحفز التزويج بالتلقيـح الحشرى ظهور انواع كثيرة جديدة . تعتبر هذه النبـاتات حـولية وتنمـو فى التربة القـاحلية . أمـا السلالات المعمـرة من هذا النبـات فتوجد فى التراب الأكثر اعتدالا .





شكل (14ـ18) منع تزريع البطاطس المخزونة potatoes (Solanum tuberosum) باستخدام منظم للنمو يسمى Naphthaleneacetic acid
(اليسار) بطاطس معالجة
(اليمين) بطاطس غير معالجة

اثناء تخزينها لمدة طويلة . وقد تم ببعض النجاح استخدام مادتى حامض نفتالين الخليك naphthalene acetic acid (شكل 14 ـ 18) وكذلك مركب chloroispropyl phenylc arbamate(CIPC) . وتستخدم هذه المواد اما على شكل بخار يطلق فى مخزن الدرنات او بغمس الدرنات او تعفيرها عند تخزينها. وفى الحقل يمكن اطالة فترة السبات والتحكم فى عملية التزريع برش نبات البطاطس بمركب هيدرازيد الماليك maleic hydrazide اثناء نمو درناته فينتقل هذا المركب او المادة الناتجة من تأثيره الى الدرنات ويؤخر تزريعها بعد حصادها. وقد استعمل هيدرازيد الماليك ايضا فى ابطاء نمو نجيليات المسطحات وتخفيض عدد حشاتها .

ومن اهم الاستخدامات الاخرى لمواد النمو وتأثيرها المثبط، هو التحكم فى تساقط ثمار التفاح والكمثرى قبل نضجها ففى عدد من الاصناف القيمة تسقط الثمار من الشجرة قبل اوان حصادها، وهذا يسبب خسارة كبيرة للمزارعين حيث تخدش الثمار المتساقطة وتصبح غير صالحة للبيع . ويمكن تجنب تساقط الثمار برشها بالمواد المخلقة المنظمة للنمو . وذلك قبل حصادها بوقت قصير. وغالبا ما يستعمل لهذا الغرض حامض نفتالين الخليك والتركيزات الطفيفة منه (5 ـ 10 اجزاء من مليون) تعتبر فعالة للغاية ويكفى غالبا ان ترش مرة واحدة فقط . فطبقة الانفصال التى توجد عند قاعدة الساق الحامل للثمرة تتكون ببطء وذلك بتأثير هرمونات النمو، وهذا يتيح للثمار ان تنضج نضجا عاديا .

وفضلا عن ذلك فقد استخدمت الهرمونات فى زيادة محصول الفاكهة وتحسين صفاته، ففى كاليفورنيا يرش غالبا صنف العنب اللابذرى المعروف باسم تومسون بمادة الجبريلين بهدف انتاج ثمار كبيرة، وعلاوة على ذلك فان رش هذه المادة فى الوقت المناسب (طور التزهير) يؤدى الى تكوين مجاميع مفككة من الثمار، التى يسهل معاملتها ويقل قابليتها للاصابة بأمراض معينة عن مجاميع الثمار المدمجة .

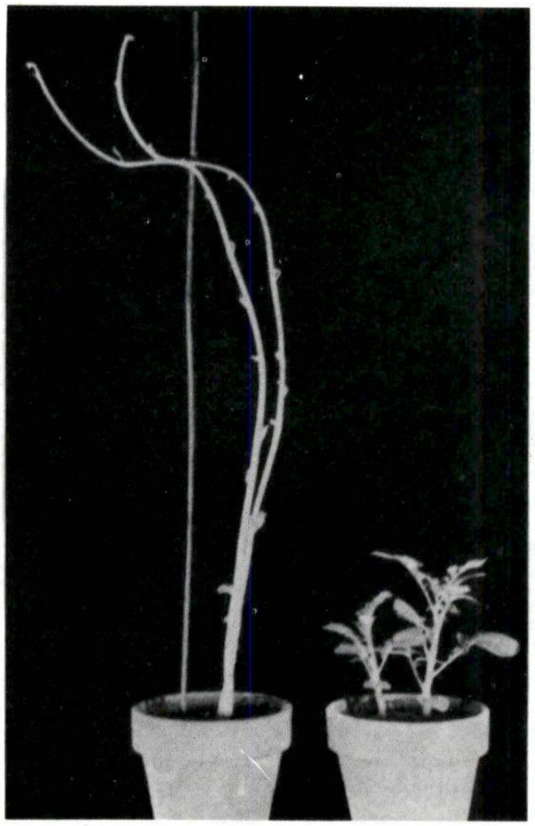
الضوء والنمو : Light and Growth

من بين العوامل الخارجية المعروفة التى تؤثر على عملية النمو فى النبات : توفر الاملاح المعدنية ووجود الماء والهواء فى التربة . ومن هذه العوامل ايضا شدة الاضاءة، وطول فترتها كذلك درجة الحرارة . وفى امكان اى عامل من هذه العوامل تحديد عملية النمو. وقد سبق توضيح بعض هذه العوامل وعلاقتها بالعمليات النباتية الاخرى وسنشرح الان بتفصيل ادق تأثير كل من الضوء ودرجة الحرارة على عملية النمو .

درس تأثير الضوء على عملية النمو دراسة شاملة، فبجانب التأثير المباشر للضوء على عملية البناء الضوئى وتمثيلها للغذاء فانه يؤثر بصفة تكاد تكون غير مباشرة على نمو الاعضاء كل عضو على حدة او على النبات ككل.واعظم التأثيرات اثارة ودهشة مقارنة نبات نام فى الضوء العادى بنبات من نفس النوع ينمو فى الظلام (شكل : 14 ـ 19) فغياب الضوء يؤثر على كل من شكل النبات الخارجى كما يؤثر على معدل استطالته فالنبات الذى ينمو فى الظلام له ساق طويلة مغزلية، وفى هذا النبات تعجز الاوراق عن التفلطح ويصفر لون الاوراق والساق اصفرارا باهتا لافتقارهما للكلوروفيل. والشحوب etiolation هو الصفة التى تطلق على هذه النباتات ويتناقص بسرعة معدل استطالة النباتات التى نمت فى الظلام اذا ما تعرضت للضوء . وبالعكس اذا نما نبات من نفس النوع فى الضوء، فانه يمتاز ببنيان متين وتفلطح اوراقه تفلطحا تاما، كما يمتاز بقصر المسافة التى تتباعد فيها هذه الاوراق على طول الساق واسهل الوسائل لتوضيح ظاهرة الشحوب زرع درنات البطاطس او بذور الفاصوليا او البازلاء فى اصص تحفظ فى الظلام وتحتوى هذه الدرنات والبذور على كمية كبيرة من

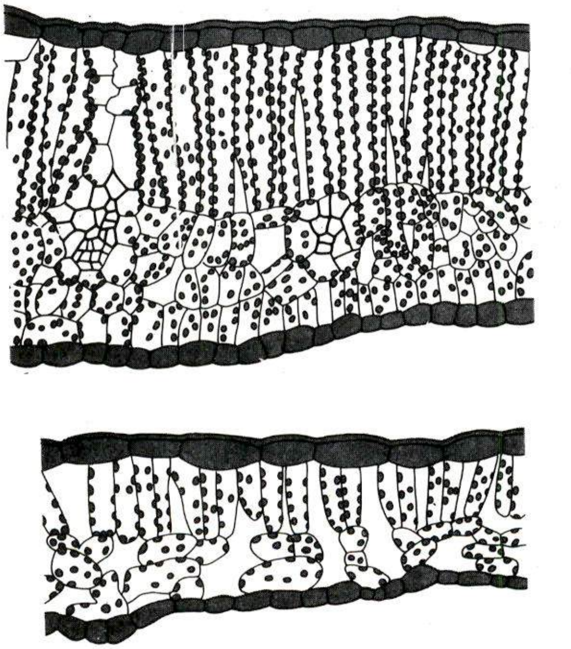
الاضاءة (شكل 14 ـ 20) . فالاوراق التى تنمو فى ضوء الشمس يرتفع محتواها السكرى بينما يقل محتواها المائى عن النباتات التى تنمو فى الظل. ونتيجة لذلك تتميز الاوراق التى تنمو فى الشمس بصغر مساحتها وتغلظها وزيادة سمك ادمتها . كما تتميز بزيادة انسجة التوصيل والدعم بها. اما اوراق الظل فتتسع بها الفراغات الهوائية ويقل حجم الطبقة العمادية للنسيج الوسطى، وقد لا تتكون هذه الطبقة بتاتا، وعلى ذلك لا يحتوى الجزء الداخلى من اوراق الظل الا على النسيج الاسفنجى فقط .

وفى بعض مناطق الولايات المتحدة وكوبا التى يزرع فيها نبات التبغ tobacco ، يستغل المزارعون تأثير شدة انخفاض الاضاءة على الاوراق. فنظرا للطلب على الاوراق العريضة الرفيعة لتغليف السيجار وارتفاع ثمنها تزرع بعض اصناف

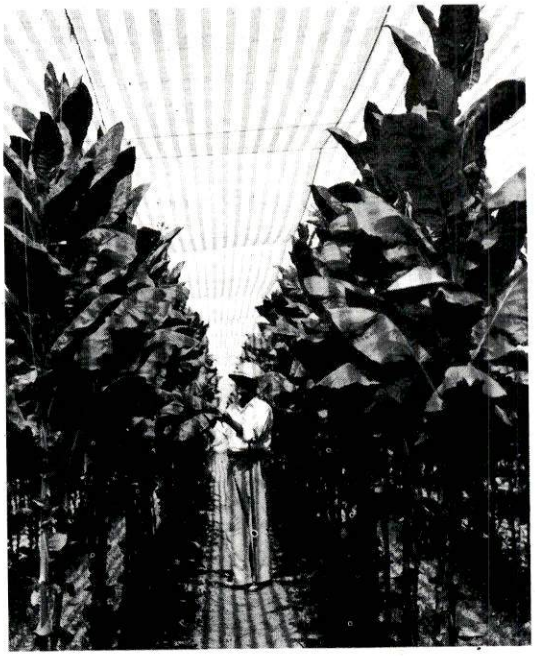


شكل (14ـ19) نبات البطاطس الشاحب الاخضر .
etiolated and normal potato (Solanum tuberosum)
نما النبات الشاحب فى الظلام بينما نما النبات الاعتيادى (على اليمين) فى النور . النباتات من عمر واحد .

الطعام المدخر ولذلك تنمو النباتات الناتجة من التزريع بعض الوقت قبل ان تتعرض للتجويع وذلك فى حالة غياب الضوء اللازم لعملية البناء الضوئى . وتختلف استجابة النبات الذى ينمو فى الظل عن ذلك الذى ينمو فى الظلام . ففى الظل المعتدل تميل عملية النتح الى الانخفاض كذلك عملية البناء الضوئى ، ولكن بدرجة اقل لذلك قد تستطيل نباتات الظل وتتفلطح اوراقها بدرجة اكبر ، بسبب تحسن المدد المائى داخل انسجتها النامية، والظل الاكثف يسبب انخفاض عملية البناء الضوئى وبالتالى ينتج نباتات صغيرة وضعيفة. وتعتبر الاوراق النباتية اكثر الاعضاء النباتية استجابة للضوء وللظل. فقد يختلف تركيبها بوضوح باختلاف شدة



شكل (14ـ20) قطاعان عرضيان من ورقتين احداهما فى الشمس والاخرى فى الظل لنبات القيقب الفضى silver maple (Acer saccharinum)
(الاعلى) ورقة من الجزء الجنوبى لشجرة معزولة (مواجهة للشمس).
(الاسفل) ورقة من مركز تاج شجرة معزولة .



شكل (14ـ21) نبات التبـغ (Nicotiana tobacum) tobacco نما تحت خيمة من الشاش .

التبغ فى الظل تحت مسطحات من القماش الرفيع (شكل 14 ـ 21) وتقوم هذه الاغطية بتخفيض شدة الاضاءة وزيادة الرطوبة كما تقوم بتقليل معدل عملية النتح لكل وحدة من سطوح الاوراق. وتساهم كل هذه العوامل فى انتاج اوراق اطول وأعرض كما تقوم بانتاج اوراق ارفع واقل تعرقا. ونظرا لزيادة حجم اوراق الدخان التى تنمو فى الظل بالرغم من عدم زيادة عملية البناء الضوئى ، فانه يقل ما يتاح من مواد لبناء الجدار الخلوى. فمادة اللجنين مثلا. التى تسبب تقصف الانسجة الجافة تقل كميتها فى الاوراق النامية فى الظل. وبذلك تصبح هذه الاوراق اكثر مرونة واقيم لاسيما فى تغليف السيجار. وقد استحدث بديل بأقل تكلفة مقارنة بانماء الاوراق فى الظل. وهذا البديل هو رقائق من البلاستيك يتم بها تغليف لفائف اوراق التبغ .

التواقت الضوئى : Photoperiodism

يختلف تأثير كل من شدة الاضاءة وطول الفترة الضوئية على عملية النمو . ولكل من هذين التأثيرين مميزاته الخاصة به . ولقد حظيت طول الفترة الضوئية بدراسة خاصة مستفيضة ، ووجد ان النسبة بين طولى الفترة النهارية والظلامية لها تأثير وعلاقة واضحة لا بالنمو الخضرى للنبات فحسب ، بل بنشاطه التكاثرى أيضا .

ويعتبر اكتشاف هذه العلاقة فصلا ممتعا فى تاريخ البحوث النباتية . ففى عام 1906 نتج من صنف تجارى من التبغ طفرة ، أطلق عليها ماريلاندماموث Maryland Mammoth . وينمو هذا الصنف الى ارتفاع 10 ـ 15 قدما ويحمل عددا كبير من الاوراق . والشىء الذى أثار الانتباه هو أنه مهما كان نمو هذه النباتات قويا ، فإنها تعجز عن التزهير قبل حلول الطقس البارد وبالتالى لا تنتج بذورا . وفى قسم الزراعة بالولايات المتحدة الامريكية شرع العالمان جارنر N.W. Gerner والارد H.A. Allard ، الباحثان فى فسيولوجيا النبات فى تناول هذه المسألة بالبحث والدراسة .

وقد لاحظا منذ البداية أن النباتات التى تنقل من الحقول الى البيوت الزجاجية تزهر فى النهاية وبالتالى تنتج بذورا . حينئذ قام هذان الباحثان بزراعة بادرات من صنف الماموث فى اصص وضعت فى البيوت الزجاجية أثناء فصل الشتاء ، فوجد أنه بالرغم من أن ارتفاع هذه النباتات لم يتجاوز 90 سم فقط ، إلا أنها ازهرت وأنتجت بذورا وفيرة وأخيرا لاحظا أنه بالرغم من أن النباتات التى وضعت فى البيوت الزجاجية تزهر أثناء فصل الشتاء ، الا أنها تتوقف عن التزهير فى أواخر فصل الربيع . وها هى كلمات جارنر والارد فى هذا الصدد. «من الطبيعى ومن الوجهتين العملية والعلمية الاهتمام بتحديد العوامل البيئية المسئولة عن عملية التزهير فى الشتاء ، والتأثير الغريب لهذا الفصل على هذه العملية بطريقة اجبارية ».

لدى تقصى سر التزهير فى فصل الشتاء ، لم يدرسا صنف ماموث للتبغ فحسب بل أصنافا من نبات فول الصويا ونباتات أخرى . وسرعان ما أوضحت التجارب أن عوامل مثل درجة الحرارة والإخصاب وشدة الاضاءة لا تكشف عن هذا السر المطلوب. حينئذ شرعا فى البحث عما إذا كان طول الفترة الضوئية هو المسئول عن التزهير فى فصل الشتاء. وفى

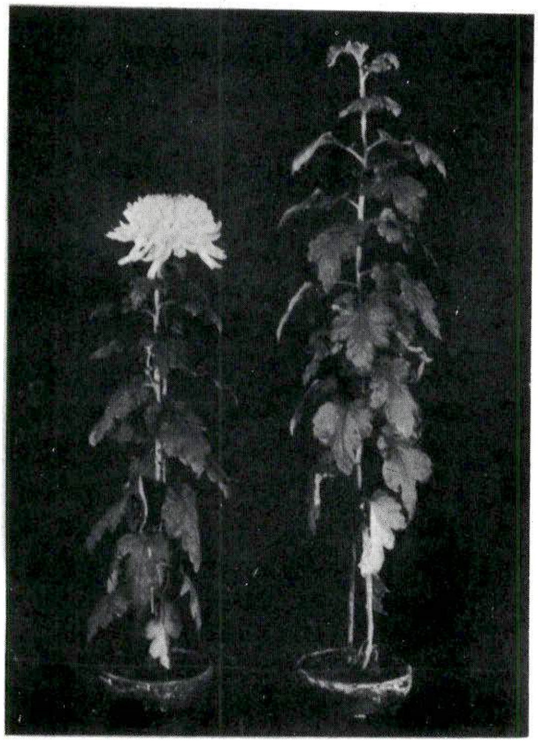
عديد من التجارب لاختيار هذا العامل ، حصلا على نتائج مثيرة للغاية .

ففى فصلى الربيع والصيف المبكر لعام 1918 قاما بمجموعة من التجارب زرعا فيها بادرات من صنف ماريلاند ماموث ، وكذلك صنف من فول الصويا ، وهذان الصنفان لا يزهران ، بصفة طبيعية قبل حلول شهر سبتمبر على خط عرض مدينة واشنطن. ولكنهما عرضا النباتات لمدة 7 ساعات فقط لضوء الشمس وذلك بحفظها فى الظلام من الساعة 4 مساءا حتى الساعة 9 صباحا . وعلى الفور أزهرت هذه النباتات. وقد اوضحت الدراسات فيما بعد مدى أهمية طول الفترة الضوئية وتأثيرها على الإزهار ، كما أوضحت مدى شيوعها فى النباتات. وفى عام 1920 نشرا بحثا عن التزهير فى النباتات وعلاقته بطول الفترة النهارية ، وهى ظاهرة أطلق عليها فيما بعد (التواقت الضوئى) .

وطول الفترة النهارية ، وهى الفترة بين شروق الشمس وغروبها تختلف على مدار العام ، وعلى سطح الكرة الارضية ، باختلاف خطوط العرض. ففى الاعتدالين الربيعى أى 21 مارس والخريفى أى 21 سبتمبر ، يبلغ طول الفترة النهارية 12 ساعة وذلك فى جميع أنحاء الكرة الارضية وفى نصف الكرة الشمالى يمتد طول الفترة النهارية بالتدريج ابتداء من 21 ديسمبر حتى تبلغ حدها الاقصى وهو 15 ساعة فى 21 يونية عند خط عرض مدينة واشنطن . وبعد هذا يأخذ طول الفترة النهارية فى القصر حتى يبلغ حده الادنى وهو 9½ ساعة فقط فى 21 ديسمبر عند خط عرض مدينة واشنطن وتزداد هذه الفروق بشكل بالغ كلما اتجهنا جنوبا أو شمالا حتى تبلغ الفترة النهارية أو الفترة الظلامية ، 24 ساعة فى المنطقة القطبية الشمالية أو الجنوبية .

الاستجابة للفترة الضوئية *Responses to photoperiod*

تنقسم نباتات المناطق المعتدلة إلى ثلاث مجاميع حسب تأثير الفترة الضوئية ، أى طول الفترة النهارية التى تتعرض لها ، على كل من النموين الخضرى والتكاثرى . وأولها مجموعة النهار القصير Short day وتشمل النباتات التى تزهر اذا قصرت فترة النهار . وتعوق الفترة النهارية الطويلة هذه النباتات عن التزهير اذا ما تعرضت لها بالرغم من استمرارها فى النمو نموا خضريا (شكل 14 ـ 22) . وتنمو نباتات النهار القصير نمو خضريا طوال الفترات النهارية الطويلة لفصل الصيف ولا تنتج ازهارا ، الا بعد ان تقصر الفترات النهارية فى آخر فصل الصيف وفصل الخريف . ومن بين نباتات النهار القصير بنت القنصل Poinsettias ، والنجميات asters والقضبان الذهبية golden rods ، وحشائش الخرقة ، والكرزانثيم Chrysanthemums والذرة وكثير غيرها .



شكل (14ـ22) تأثير الضوء على نبات الكريزانتيوم chrysanthemum (Chrysanthemum morifolium) وهو نبات يعيش اليوم الضوئى القصير . النبات المزهر على اليسار نبت فى (8) ساعات نهار و (16) ساعة ليل اما النبات المخضوضر فقد نما فى 16 ساعة ضوء و 8 ساعات ظلام .

وثانيهما مجموعة النهار الطويل day_long ونباتاتها لا تزهر الا اذا امتدت الفترة الضوئية ، أما إذا ـ قصرت هذه الفترة ، فإن هذه النباتات لا تنمو إلا نموا خضريا . ومن بين نباتات النهار الطويل نجد الخبيزة الافرنجية holly hock ، والفجل ،وبنجر الحدائق garden beet والسبانخ ، والسوسن ، وذيل القط والنفل الاحمر والحلو red and sweet clover .

ويسمى الحد الفاصل بين طول الفترة النهارية التى تناسب النمو الخضرى لنبات ما ، وتلك التى تسبب تزهيره بالفترة الضوئية الحرجة Critical light period لهذا النبات. فتزهر نباتات النهار القصير اذا قصرت الفترات النهارية عن الفترة الضوئية الحرجة لهذه النباتات ، كما تزهر نباتات النهار الطويل اذا طالت الفترات النهارية عن الفترات الضوئية الحرجة لها . وتتراوح الفترة الضوئية الحرجة لكثير من الانواع بين 12 ـ 14 ساعة من الضوء ، ولكن أى تغير طفيف بها له أهميته القصوى. فأحد أصناف فول الصويا مثلا ، يزهر متاخرا 15 يوما إذا زاد طول الفترة الضوئية من 14 ساعة الى 14.5 ساعة ومع أن هذا التغيير يقابله تغير طفيف فى خطوط العرض إلا أن ذلك يعنى بالنسبة لهذه النبات نجاح زراعته قرب مدينة شارلستون وفشلها قرب واشنطون ، لانه لا ينتج بذورا تامة النضج قبل حلول الصقيع فى فصل الخريف .

وقد تم انتخاب كثير من أصناف فول الصويا والذرة وغيرها من نباتات النهار القصير لمقاومة الفترات النهارية الطويلة ، فأزهرت هذه الاصناف بصورة طبيعية فى 15 أو 16 ساعة من الفترات النهارية . ومع ذلك فقد تسرع هذه النباتات فى تزهيرها فى الفترات النهارية القصيرة لانها بطبيعتها الفطرية من نباتات النهار القصير فمثل هذه الاصناف قد تأقلمت بصورة مثالية فى منطقة يبلغ اتساعها من الشمال الى الجنوب 100 أو 200 ميل فقط . فإذا زرعت هذه الاصناف فى الشمال خارج هذه المنطقة فإنها لا تنضج بسبب تأخر زراعتها ، كذلك اذا زرعت فى الجنوب خارج هذه المنطقة فإنها تسرع فى نضجها ، فيقل بذلك نموها الخضرى ، وبالتالى لا تنتج محصولا كاملا . وفى كلتا الحالتين يلزم زراعة صنف مختلف آخر أكثر ملاءمة وأقدر على التأقلم .

وثالثهما مجموعة النباتات الوسطية intermediate أو نباتات النهار المحايد day_neutral ، لانها غير حساسة بالنسبة لطول النهار . وتضم هذه المجموعة كثيراً من أصناف الفاصوليا والطماطم والاقحوان calendula والجلبان vetch وبخور مريم cyclamen وابو خنجر nasturtium والورود roses، وحنك السبع snapdragon ، والقرنفل carnation ، وكثير من الحشائش الشائعة .

وتشاهد ظاهرة التواقت الضوئى بوضوح اذا مازاد أو نقص طول النهار بطريقة اصطناعية فإذا كانت الفترة النهارية طويلة مثلا ، فإنه يمكن تقصير الفتحات الضوئية بتغطية نباتات التجربة فى الصباح ، أو فى المساء وإذا كان المطلوب فترات أطول ، يضاف إلى هذه الفترات الضوئية السائدة فترات اخرى وذلك بالاستعانة بالمصباح الكهربائى . ومد الفترات النهارية القصيرة بفترات أخرى اصطناعية يعوق نباتات النهار القصير عن التزهير . وتضاف هذه الفترات الاصطناعية الى طرف النهار ، وحتى تكون ابلغ فى تأثيرها تضاف فى وسط الليل . وتشير هذه الاستجابة الاخيرة الى الاهمية الجوهرية لطول فترة الظلام اذا قورنت بالفترة الضوئية فى نباتات النهار القصير ، وفى الظروف الطبيعية فان ليلا طويل يعنى بالطبع نهارا قصيرا ، والعكس بالعكس . والاستنتاج المنطقى من هذه الاستجابة هو أن ما يحث نباتات قصيرة النهار على التزهير ، هو تفاعل يحدث أثناء فترة الظلام ، وعلى ذلك يلزم أن تكون هذه الفترة طويلة بدرجة كافية . وبالعكس فإن ما يعوق نباتات طويلة النهار عن التزهير هو تفاعل يحدث أثناء فترة الظلام ، وعلى ذلك يلزم الا تكون هذه الفترة طويلة جدا ، فهذه النباتات تزهر عادة فى ضوء مستمر لا تقطعه فترات ظلام أصلا .

وشدة الاضاءة اللازمة لمد الفترة الضوئية التى يتعرض لها النبات (بعد حصوله على ضوء كاف لعدة ساعات للقيام بعملية البناء الضوئى) قد تقل عن جزء من الف من ضوء الشمس الكامل أى تقل عن 5 ـ 10 شمعات . ويلزم إضافة هذه الفترة الضوئية لا من مصباح مشع بل من مصباح متوهج حيث يتوفر فى إضاءته الموجات الضوئية الحمراء التى تحمل النبات على الاستجابة بشدة لهذه الفترة الضوئية ، كما تحمله أيضا على الاستجابة لمؤثرات أخرى ذات صلة

بعملية النمو .

والمثال التالى يوضح مدى تاثير نباتات النهار الطويل بتقصير الفترة الضوئية. ففى تجربة على عدة انواع من نباتات السيدم Stonecrops (Sedum) ، وهى من الاعشاب المعمرة التى تزهر بصفة طبيعية فى منتصف فصل الصيف حفظت هذه الانواع لمدة 9 سنوات عرضت أثناءها لفترة ضوئية قدرها ساعة أو أقل وطوال هذه الفترة إستمرت هذه النباتات فى النمو نموا خضريا ، لم تزهر الا بعد أن تعرضت فى نهاية التجربة الى فترات ضوئية طويلة أثناء فصل الصيف. وبعض نباتات الزينة مثل النجم والكريزانثيم ، وهى من النباتات قصيرة النهار ، تحمل على التزهير عند الحاجة إذا غطيت فى الصباح أو المساء بقماش أسود سميك ، وذلك لتقصير الفترة الضوئية السائدة فى فصلى الربيع والصيف . ويستغل هذا الاجراء الان على نطاق تجارى ، هذا من ناحية ، واما من الناحية الاخرى فإن نباتات النهار الطويل التى تنمو فى البيوت الزجاجية فى فصل الشتاء قد تحمل هى الاخرى على التزهير اذا أضيف اليها ضوء من مصباح كهربائى. ولاستجابة النبات للفترة الضوئية والدراية لها اهمية بالغة خصوصا ، لمربى النباتات. فبإمكانهم التحكم بطرق اصطناعية بالفترة الضوئية النهارية ، والحصول فى وقت واحد على أزهار من أصناف طويلة النهار ، ومن أخرى قصيرة النهار وتحقيق بغيتهم فى تهجينها . وفضلا عن ذلك يمكنهم إستغلال البيوت الزجاجية فى إنتاج جيل إضافى من نباتات طويلة النهار فى فصل الشتاء .

وقد تتأثر بعض مظاهر النمو الاخرى ، بالفترة الضوئية . فعملية التكوين الدرنات فى نبات خرشوف القدس Jerusalem artichoke (Helianthus tuberous) ما هى الا استجابة لنهار قصير ، فهذا النبات يزهر فى الفترات النهارية الطويلة ، ولكنه لا يكون درنات الا اذا تعرض لفترات نهارية قصيرة كتلك التى تحدث أثناء فصل الخريف . وفى الفترات النهارية القصيرة فى شهرى سبتمبر وأكتوبر تتضخم وتزداد فى السمك جذور كثير من النباتات ذات الفصلين أو النباتات المعمرة مثل النفل الحلو (sweet clover melilotus alba) وشوك الحصان horse nettle(Solanum Carolinense) وتمتلى هذه الجذور بالطعام المختزن ، الذى يسمح ببقاءالنبات حيا فى فصل الشتاء ليبدأ نموه فى الربيع التالى . وتستجيب كثيرا من النباتات الخشبية التى تنمو فى الطقس المعتدل للفترات الضوئية القصيرة ، فيتوقف نموها الخضرى وتتكون البراعم وتدخل بسرعة مرحلة السبات أو الكمون ويتأخر السبات أو يوقف نهائيا فى الفترات النهارية الطويلة ، وفضلا عن ذلك فقد تحث هذه الفترات على تجديد نمو النباتات الكامنة إذا ما تعرضت لها . فنباتات القرنوس dogwood (cornus florida)المزهرة ذات النمو النشط ، مثلا تستجيب لظروف النهار القصير إذا ما تعرضت له لمدة 12 ساعة ، فتتوقف استطالة ساقها ، ولا تتم عملية التكوين فى أوراقهاالمتجددة وتتشكل الحراشف البرعمية ، ويشرع النبات فى السبات .أما إذا إحتفظت هذه النباتات فى ظروف نهارية طويلة بأن تعرضت لمدة 15 ساعةأو أكثر ، فإن نموها يستمر بغير حدود . يتضح من ذلك مغزى هذه الاستجابات ، ومدى تلائمها مع الظروف المناسبة وغير المناسبة التى تتوالى على النبات أثناء نموه . ويوجد أيضا من الادلة مايثبت إستجابة بذور بعض النباتات أثناء انباتها للفترة الضوئية . فهناك بذور ذات نهار طويل ، وأخرى ذات نهار قصير وكلا النوعين معروف .

آلية التواقت الضوئى *Mechanism of photoperiodism*

أمكن بالتجربة إحداث تغير فى إستجابة النبات للفترة الضوئية ، وذلك بإستعمال فترة ضوئية قصيرة فى مدتها ، وقليلة فى شدتها ، كتلك الفترة التى تتعرض لفترة الظلام فى النباتات قصيرة النهار . هذه الحقيقة جعلت فى الامكان إثبات أن الضوء الاحمر red light (وطول موجته 660 ملليميكرون milimicron شكل : 5_15) هو الضوء الفعال فى التواقت الضوئى . وبتجربة مماثلة تحت ظروف معملية ، ثبت أن الضوء الاحمر الاقصى far red light (وطول موجته حوالى 730ملليميكرون)يلغى تاثير اللون الاحمر ، بمعنى أنه إذا عرض نبات لفترة من الضوء الاحمر ثم أعقبتها فترة أخرى من اللون الاحمر الاقصى إستجاب هذا النبات وكأنه لم يتعرض للفترة الاولى بتاتا . وإذا عرض النبات لفترة من اللون الاحمر ثم لفترة من اللون الاحمر الاقصر وتكررت هذه

الفترات على التوالى فإن الفترة الاخيرة هى التى تحدد نوع الاستجابة ، وقد أدت هذه الملاحظة الى إكتشاف صبغة سيتوبلازمية حساسة للضوء ، أطلق عليها الفيتوكروم phitochorome ، حديثا أمكن فصلها بصورة تكاد تكون نقية ، كما أمكن التعرف على طبيعتها البروتينية وتتشكل هذه المادة بصورتين إحداهما تمتص الضوء الاحمر ويرمز لهذه الصورة بالرمز (Pr) ، والأخرى تمتص اللون الأحمر الاقصى ويرمز لها بالرمز (Pfr) . ويحول اللون الاحمر الصورة (Pr) الى الصورة (Pfr) ، إلا أن الصورة الاخيرة لا تستقر على حالتها ، فتعود بالتدرج الى الصورة (Pr) ، أما انعكاس الصورة (Pfr)الى الصورة (Pr) بفعل اللون الاحمر الاقصى فإنه يتم بسرعة .

Pr 660 —— red أحمر ——▶ Pfr 730

الضوء الاحمر البعيد
Pr 660 —— far- red (rabid (أسرع) ——▶ Pfr 730
or dark (slow ابطىء) أوالظلام

والاعتقاد السائد هو أن الصورة Pfr للفيتوكروم هى الصورة النشطة لان النبات يستجيب للمؤثرات الخارجية بعد تعرضه للون الاحمر ، والصورةPfr والتفاعلات التى تستحثها لها علاقة بعملية التزهير ، فهى الوسيط لتفاعل الظلام الذى يحث نباتات النهار القصير على التزهير ، كما يعوق نباتات النهار الطويل على التزهير . ولما كان طول الظلام هو الطول الحرج فى ظاهرة التواقت الضوئى فقد فرض أن تحول الفيتوكروم من صورته Pfr إلى الصورة Pr هو الذى يحدد الطول الحرج لفترة الظلام ، إلا أن هذا التحول لا يستغرق فى الظلام أكثر من 4 ساعات تقريبا . لذلك يعد هذا التحول من القصر بحيث يعجز عن تفسير هذه الفترة وتوقيتها .وعلى ذلك فألية هذا التوقيت (ويمثل بساعة دقاقة)يصعب فهمها حتى الان . ويبدو انه يوجد فى انظمة توافقية داخلية internal rhythm تختلف بطبيعتها بإختلاف النبات وبإختلاف عمليات تحوله الغذائى ، والمفروض أن صبغة الفيتوكروم تؤدىدورها فى التأثير على هذه _ الانظمة يتضح من ذلك أن صبغة الفيتوكروم التى تستقبل الضوء وتستجيب له تختص بعمل« ضبط الساعة وتشغيلها. أما هذه الانظمة فإنها تختص فى النهاية بآلية التوقيت وتحديد نوع الاستجابة .

وبجانب تأثير الفترة الضوئية وظواهرها المختلفة يقوم الضوء عبر صبغة الفيتوكروم ونظامهابالتأثير على النبات بصورة كثيرة أخرى.فعملية الانبات فى كثير من البذور ، فالخس lettuce (Lactoca sativa) مثلا تحتاج الى الضوء . ويؤثر الضوء الاحمر على هذه العملية فيستحثها ، بينما ينعكس هذا التأثير بفعل الضوء الاحمر الاقصى . ويؤثر الضوء الاحمر تأثيرا إيجابيا على كل من استطالة الساق وتفلطح الاوراق . ويختفى الشحوب من النبات إذا عرض الى الضوء الاحمر ، كما ينعكس تأثير الضوء الاحمر فى هذه العمليات والظواهر بفعل تأثير الضوء الاحمر الاقصى وحتى عملية تكوين صبغات الانتوسيانين anthocyanens والحركة اليومية للاوراق يرتبطان بصبغة الفيتوكروم ونظامها وأوضح الامثلة ما شوهد فى نبات الميموزا (الست المستحية) mimusa plant (mimosa podica فوريقات هذا النبات تتفتحفىالضوء.واذا وضعت فى الظلام فإنها تبدأ فى الالتواء بعد وضعها بخمس دقائق ، ويتم إلتواؤها بعد حوالى 30 دقيقة . إذا عرض هذا النبات للضوء الاحمر لمدة دقيقتين من بداية وضعه فى الظلام فإن وريقاته تظل مفلطحة . وتنعكس النتيجة اذا أعقب ذلك تعرض النبات للضوء الاحمر الاقصى ، ويمكن معاملة هذا النبات عدة مرات بتعريضه للضوء الاحمر والضوء الاحمر الاقصى على التوالى وتحدد المعاملة النهائية نوع الاستجابة .

ولا يعرف على وجه الدقة الطريقة التى يعمل بها الفيتوكروم، فكل التفسيرات هى من قبيل الظن والتخمين ، وأغلب الظن أنه يؤثر على نفاذية الخلية وأغشيتها ، لا على الغشاء البلازمى فقط بل على أغشية النواة والميتوكوندريا أيضا ، ومن هنا يبرز تأثيره السريع على عمليات التحول الغذائى فى الخلايا .

الهرمونات وعملية التزهير Hormones and Flowering

من بين الاراء السائدة رأى يعتقد انه بوجود سرمون خاص لعملية التزهير يطلق عليه الفلوروجين florogen ويظن ان هذا الهرمون يتكون فى الاوراق تحت ظروف مناسبة من

الفترات الضوئية ،ثم ينتقل الى قمم السيقان حيث يستحثها لتكون أزهارا . ولو عرض جزء ولو يسير من النبات (كورقة واحدة مثلا) لفترات حيث استجاب النبات كله لهذا الحث ، مما يوحى بفكرة انتقال هرمون من هذا الجزء المعامل ، ومن هنا نشأت فكرة الفلوروجين . ففى تجربة على نبات الكريزانثيم (Cherysanthemum)وهو من النباتات قصيرة النهار ، عرض بضعة اوراق يحملها طرفه السفلى إلى فترات ضوئية قصيرة . ومع ذلك قد كون طرفه العلوى ازهاراً ، والشرط الاساسى لانجاح هذه التجربة هو تجريد هذا النبات من الاوراق التى لم تعامل وبالتالى لم تستحث ، وربما يرجع ذلك الى ان بعض الاوراق تعوق بطريقة ما انتقال المؤثر كما أوضحت بعض التجارب امكانية عبور المؤثر لموضع التحام نوعين ثم تطعيمهما ، وقد اوضحت هذه التجربة إمكانية الهرمون فى أحد النوعين على حث التزهير فى النوع الاخر . فإذا طعم فرع من نبات قصير النهار على آخر طويل النهار فغالبا ما يزهر الفرع الاول فى فترات نهارية طويلة ، والعكس صحيح . وبالرغم من هذه المحاولات الكثيرة إلا انه لم يتم حتى الآن فصل هرمون التزهير .

واوضحت التجارب أيضاً تأثير الهرمونات الأخرى على عملية التزهير . ففى حالات كثيرة يبدو أن الهرمونات تعوق عملية التزهير ، أو ماهو اكثر احتمالاً، تعمل على تنشيط النمو الخضرى ، وهذا بدوره يمنع مؤثرات عملية التزهير من أن تؤدى دورها . فالمواد التى تعوق عمل الاوكسينات (الاوكسينات المضادة) تعمل تحت ظروف معينة على استحثاث التزهير . فنبات فول الصويا ، مثلا ينمو نموا خضريا قويا فى الفترات النهارية الطويلة ولكنه يحث على التزهير بسرعة وذلك برشه بالاوكسين المضاد . ويمكن الحصول على نتائج مماثلة بازالة الأوراق الصغيرة المفلطحة التى يحملها النبات فى طرفه العلوى ، حيث انها تعتبر أهم المصادر لانتاج الاوكسين . وعلى العكس من ذلك ، إذا عرض نبات لفترات ضوئية قصيرة تكفى لتزهيره ، فإن رشه بالاوكسين يمنع تزهيره . ويظن ، فى واقع الامر ، أن عمل الفلوريجن هو الحد من نشاط الاوكسين إلى الدرجة التى تسمح ببدء التزهير .

وغالبا ما يذكر الجبرلين ضمن مستحثات عملية التزهير فى أنماط معينة من النبات خصوصا النباتات طويلة النهار ذات الشكل النجمى . فنبات الخس lettuce (Lactuca sativa var. Grand Rapids) الذى عومل بالجبرلين تستطيل ساقه وتحمل أزهارا ـ (تتشمرخ) (bolt) فى الفترات الضوئية القصيرة . ومن المحتمل أن هذا الهرمون يؤثر بصفة أساسية على استطالة الساق ، وأن عملية التزهير ما هى إلا نتيجة لهذه الاستطالة . أما فى نباتات النهار القصير ، فإن الجبرلين يزيد ، على أكثر تقدير ، من استحثاثها على التزهير ، ولكنه لا يؤدى إلى تزهيرها تحت ظروف غير مستحثة . وقد أوحت هرمونات النمو المعروفة كما أوحت مساهمتها فى عملية التزهير بغرض عدم وجود الفلورجين على صورة مادة واحدة . فالفلوريجين على الأصح يمثل اتزانا بين عوامل منفردة أو عديدة . وهذا فى الواقع يفسر الصعوبات التى اعترضت محاولة فصله .

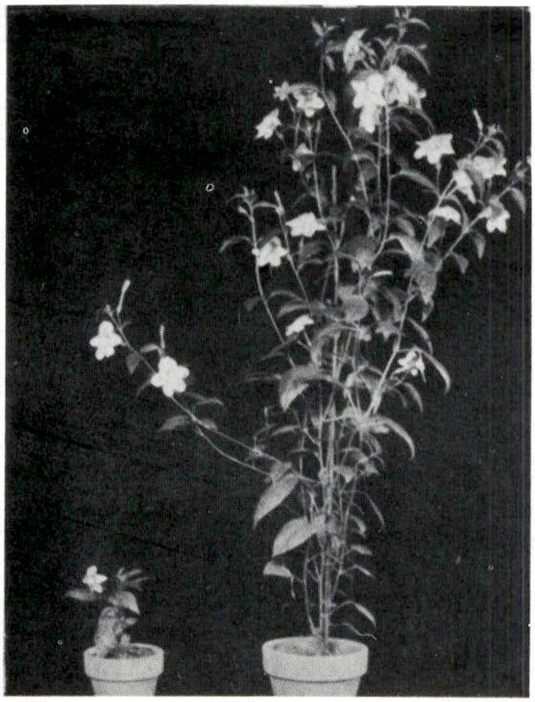
ومن دراسة ظاهرة التواقت الضوئى والالمام بها ، عرف علماء النبات كيف يتم توزيع النباتات شمالا وجنوبا . كما أمكن بهذه الظاهرة التعرف على الأصناف التى تتلاءم فى نموها مع المواقع الخاصة وتحديد التواريخ التى تناسب زراعتها . وفضلا عن ذلك فقد تم بعمليتى الانتخاب والتهجين الحصول على أصناف خاصة تتلاءم فى نموها مع الفترات الضوئية للمناطق التى تزرع بها .

ومن بين محاولات الانسان العديدة لزيادة غلة المحاصيل تحوير البيئة التى تزرع فيها النباتات المفيدة وحصوله على أصناف أفضل تتلاءم مع ظروف بيئية خاصة . وكل صنف من هذه الأصناف ، وكل نوع منها له احتياجاته المختلفة من التربة والرطوبة ودرجة الحرارة وطول فصل النمو . ويلزم أن يضاف إلى هذه المتطلبات لعدد كبير من النباتات متطلب آخر تحتاجه النباتات هو طول الفترة النهارية .

درجة الحرارة وعملية النمو Temperature and Growth

ينشط النمو عادة بارتفاع درجة الحرارة ، ويتباطأ بانخفاضها (شكل 14 ـ 23) . إلا أن معدل النمو لا يستمر

فى الزيادة بارتفاع درجة الحرارة ، وذلك نتيجة لما تسببه من آثار ضارة يهبط بها معدل النمو . وقد ينتج الضرر الناشىء من ارتفاع درجة الحرارة إما بسبب التجفيف الذى يصيب الأنسجة أو بسبب الارتفاع التدريجى فى معدل عملية التنفس إلى الدرجة التى يزيد فيها استهلاك الغذاء عن انتاجه الذى يتم بفعل عملية البناء الضوئى . وتؤثر درجة الحرارة على عملية النمو عن طريق تأثيرها على أنشطة عمليات التحول الغذائى وهى عمليات الهضم والانتقال والتنفس وكذلك عمليات بناء مواد جديدة من البروتوبلاست والجدار الخلوى . وبارتفاع درجة الحرارة ترتفع عملية النتح (الفصل الثامن) ، وهذا يؤدى إلى انخفاض الضغط الانتفاخى الذى يسبب بدوره انخفاض عملية النمو اثناء النهار .



شكل (14ـ23) تأثير درجة الحرارة على نمو نبات زينة استوائى هو البروواليا (Browallia americana)
(اليسار) النبات نما تحت 10 درجات مئوية .
(اليمين) نما النبات تحت 18 درجة مئوية .

وكل نوع من النبات له درجة حرارة دنيا minimum temperature إذا نقصت عنها عجز عن النمو ، وله درجة حرارة مثلى optimum temperature عندها يصل معدل النمو إلى أقصاه ، كما أن له درجة حرارة قصوى maximum temperature ، إذا زادت عنها توقف النمو . وقد تختلف درجة الحرارة المثلى فى كل طور من أطوار نمو النبات ، كما تختلف بطول الفترة التى تسود فيها . فدرجة الحرارة المثلى لعملية الاستطالة أو عملية الزيادة فى الوزن الجاف للنبات ، مثلا تختلف عن عملية انتاج الزهرة أو عملية انتاج البذرة . ومعظم أطوار نمو النبات تقع بين 10 و 40 م° (50 إلى 104 ف°) .

وكما تؤثر درجة الحرارة على معدل النمو ، تؤثر أيضاً على أنماط النبات . والعلاقة التى توجب الاهتمام هى العلاقة بين درجة الحرارة وتأثيرات الفترة الضوئية ، والتى وجدت فى المعالجة بالتبريد vernalization . ففى أنواع معينة من النباتات ومعظمها أنواع طويلة النهار ، ولكنها تشمل أيضا بعض نباتات قصيرة النهار ، لا تصبح حساسة للفترة الضوئية إلا بعد تعرضها لدرجة الحرارة القريبة من درجة التجمد . وبعض النباتات مثل الحوليات الشتوية ـ التى تبدأ نموها فى فصل الخريف وتكمله فى وقت مبكر من فصل النمو التالى ـ تحتاج إلى معاملتها بالتبريد أثناء عملية الانبات أو بعد انباتها مباشرة . أما غيرها مثل النباتات ذات الحولين فإنه يلزم قبل معاملتها بالتبريد أن يبلغ نموها الخضرى حدا وافرا . فبدون معاملتها بدرجة الحرارة المنخفضة ، وبدون تعرضها للفترات الضوئية الحاثة التى تناسبها ، فإن هذه النباتات لا تزهر . وفى بعض النباتات ذات الحولين (مثل الجزر) يستخدم الجبرلين بدلا من معاملة هذه النباتات بالتبريد .

السبات (الكمون) Dormancy من أوضح ما تمتاز به نباتات المناطق المعتدلة سلوكها الدورى المتعاقب ، فهى تنمو نموا نشطا فى فترة ، يعقبها فترة أخرى من السبات dormancy ويظهر ذلك بوضوح خصوصا فى النباتات الخشبية التى تسقط أوراقها فى الخريف ولا يتجدد نموها إلا فى فصل الربيع التالى . وتسلك النباتات العشبية التى تعيش أكثر من فصل واحد سلوكا متشابها ، إلا أن أعضاءها التى

تدخل مرحلة السبات هى الريزومة ، أو الكورمة أو البصلة أو الدرنة أو المجموع الجذرى ، وذلك بدلا من النبات ككل . ويوجد عدة أنواع من النباتات المعمرة سواء البرية منها أو المنزرعة تعيش خلال فصل الشتاء وتبكر فى تزهيرها فى فصل الربيع . ثم تموت أجزاءها الهوائية ويدخل النبات فترة سبات حتى وإن تبدلت الظروف ، كدرجة الحرارة والضوء مناسبة لاستمرار نموها . وفى معظم الأشجار الأكبر سنا يتوقف غالبا نمو الساق فى أوائل الصيف ، إلا أن نمو جذورها ، وكذلك زيادتها فى السمك يستمران فترة أطول .

وتختلف طول الفترة التى تقضيها النباتات فى مرحلة السبات . وتحتاج كثير من النباتات إلى درجات الحرارة المنخفضة لكسر حدة السبات ، قبل أن يستأنف النمو نشاطه ثانية . فالفروع المقطوعة من بعض الأشجار والشجيرات المزهرة مثل القرنوس dog – wood والازاليا azalea والليلك lilac ، تعجز عن النمو إذا وضعت داخل البيت فى فصل الخريف ، ولكنها تزهر إذا قطعت فى الشتاء أو بداية فصل الربيع . وكثير من أشجار الفاكهة المتساقطة الأوراق مثل التفاح والخوخ والكرز ، تحتاج إلى فترة سبات تمتد طوال فصل الشتاء ، وعلى ذلك فإنها لا تنمو إلا فى المناطق المعتدلة . ومعظم أصناف الخوخ يلزمها فترة سبات تبلغ 600 _ 900 ساعة تحت درجة حرارة 7 م° (45 ف°) قبل أن تتفتح اكمامها وتبرز الأوراق من براعمها . وأشجار البيكان pecans ، والجوز الانجليزى English walnuts واللوز almond ، والعنب وغيرها من أشجار الفاكهة تحتاج إلى درجة حرارة منخفضة ، إلا أن مدة هذه الفترة تختلف باختلاف هذه النباتات

وتحتاج بعض النباتات إلى التعرض لأى درجة من درجات التجمد لكى تجتاز فترة السبات . أما البعض الآخر فيكفى لذلك أن تتعرض لدرجة منخفضة أعلى من درجة من درجات التجمد . ومعظم الابصال والدرنات وغيرها من السيقان الأرضية تحتاج ، على الأقل ، إلى فترة قصيرة من السبات . ولا تقصر فترة السبات العادية لدرنات البطاطس بتعرضها لدرجات الحرارة المنخفضة ، أما الدرنات التى جمعت حديثا فقد تحث على التزريع إذا خزنت لمدة شهرين أو أكثر تحت ظروف دافئة جافة . وفى الامكان بل أحيانا من المرغوب فيه إنهاء فترة السبات أو تقصير طولها ، وذلك لكى تحصل على انتاج فى وقت مبكر سواء أكان هذا الانتاج غذاء أو زهوراً للزينة . ومن بين الوسائل التى تستخدم لتحقيق ذلك التخزين فى أماكن دافئة أو باردة أو المعاملة بالمركبات الكيميائية المختلفة . فدرنات البطاطس الساكنة مثلا تتم فيها عملية التزريع بعد 7 _ 10 أيام من بدء حصادها ، إذا ما عرضت لبخار كلوروهيدرين الاثيلين ethylene chlorohydrin . وبهذه الوسيلة تمكن علماء أمراض النبات من الحصول على نباتات البطاطس من الدرنات التى زرعت فى البيوت الزجاجية اثناء فصل الشتاء ، حتى يمكنهم معرفة ماإذا كانت هذه الدرنات تحمل أمراضا أو خالية منها . وقد تستخدم هذه المادة الكيميائية نفسها لانهاء السكون فى كورمات الجلاديولس gladiolus وتبلغ فترة السبات الطبيعية فى هذه الكورمات 6 _ 7 شهور . وبهذه المعاملة تحث كورمات الجلاديولس على التزهير فى فصل الشتاء .

وأضحى من المحقق مساهمة الهرمونات فى الشروع والحفاظ على حالة السبات فى النبات ، وكذلك اعادة نشاطه . فحامض الابسيسيك abscisic ، وهو المادة المعوقة التى سبق ذكرها ، يسهم بنصيب وافر فى مختلف ظواهر السبات . فقد تبين أن البراعم السابتة فى كثير من الأشجار ، كأشجار المران ، والخوخ ، والقيقب sycamore maple والليلك lilac تحتوى على كميات يمكن تقديرها من هذه الهرمونات المعوقة ، وتبين أيضاً أن هذه الكمية تنخفض بالتدريج عند تفتح هذه البراعم . وقد أمكن التعرف فى بعض الحالات على الأقل ، على حامض الابسيسيك كأحد هذه المعوقات كما أن معاملة الأوراق به تسبب توقف السيقان عن النمو ، وحثها ، بصفة مثالية على تكوين براعم سابقة . وفى الظروف الطبيعية التى تحث على الكمون ، كالفترة الضوئية القصيرة ، يتم بناء الحامض الابسيسيك فى الاوراق وينتقل إلى البراعم . ويعمل هذا الهرمون أيضاً على سبات بعض أنماط معينة فمعاملتها به تطيل سبات البذور ، وذلك فى كثير من الأنواع النباتية . ويصحب عملية المعاملة بالتبريد البذور نبات الدردار لكى تنبت انخفاض كمية حامض الابسيسيك فى أجنتها .. ويبدو أن حامض الابسيسيك يعمل كما سبقت الاشارة إليه على اعاقة نشاط الهرمونات الأخرى المنشطة للنمو وخاصة الجبرلينات

حركات النبات Plant Movements

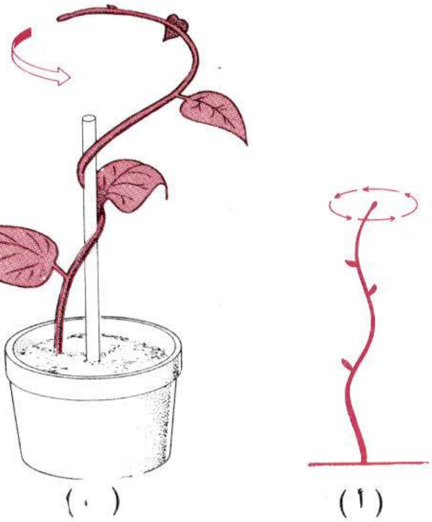
بالرغم من أن النباتات الأكبر حجما والأكثر تعقيدا تثبت فى مكانها ، فإن كثيرا من أجزائها وأعضائها لها قدرة على التحرك باشكال وأنماط مختلفة . وعادة لاتسترعى هذه الحركة انتباهنا ، فهى أبطأ مما تألفه بالنسبة للمشاهدات الأخرى . وتنتقل النباتات البسيطة القابلة للحركة ، وكذلك التراكيب التكاثرية مثل السبورات والخلايا التناسلية وتتحرك من مكان الى آخر غير أننا فى هذا المجال لن نناقش هذه الحركة الأخيرة وبروتوبلازم النبات كمثيله فى الحيوان سواء بسواء ، بحساسيته واستجابته للمؤثرات الخارجية والداخلية وهو فى الحقيقة اساس الحركة فى النبات .

وبالرغم مما استغرقته دراسة هذه الحركة من وقت طويل ، فإن طبيعتها وأسبابها وآلياتها لم تفهم على حقيقتها بعد . وحركة النبات على نوعين هما : (1) الحركة التلقائية Spontaneous Movement وهى نتيجة للمؤثرات الداخلية ، ولاتعتمد هذه الحركة نسبيا ، على الظروف الخارجية ، (2) الحركة المستحثة Induced Movement وهى التى تنتج من استجابة النبات لمؤثرات تصله من الوسط الخارجي . ومن بين المؤثرات الخارجية التى تسبب حركة النبات : الجاذبية الأرضية واللمس والصدمات ، والتقلبات الجوية سواء فى شدة الإضاءة أو فى درجة الحرارة .

والآليات المسئولة عن الحركة فى النبات هى : (1) حركة النمو التى تنتج من عدم تساوى معدل النمو على الجوانب المختلفة للعضو المعنى . وهذه الحركة غير قابلة للانعكاس irreversible (2) حركة الانتفاخ وهى التى تنتج من زيادة أو نقص حجم الخلايا ، نتيجة لمدها بالماء أو فقدها له . وتعتبر هذه الحركة حركة مؤقتة ، كما أنها فى الوقت نفسه انعكاسية reversible .

الحركة التلقائية : Spontaneous Movements

الخطران أو التمايل Nutation هو اشهر حركات النبات التلقائية . وفى هذه الحركة ترسم القمة النامية للساق أو أى عضو آخر ، مسارا دائريا تقريبا فى الفراغ (شكل 14 ـ 24أ) . ويظهر الخطران أكثر وضوحا فى السيقان ومعاليق النباتات المتسلقة ولكنها تحدث أيضا فى الأوراق والسيقان الجارية ، وأعناق الأزهار وكذلك فى الجذور . وقد قرر دارون ، الذى أجرى دراسات مستفيضة على الخطران أن أى جزء نام من أى نبات يخطر فى نموه بحركة مستمرة ، إلا أن الحركة فى بعض الأجزاء كالجذور أقل من أن تقاس . وآلية هذه الحركة هى حركة لولبية حول محور منطقة تعتبر من أعظم المناطق نشاطا فى نموها . فالخطران هى حركة نمو ، ويتوقف تماما إذا مانضجت الانسجة . ويؤدى خطران الساق الرفيعة سريعة النمو الى الالتفاف (شكل 14 ـ 24ب) . فقد تتأرجح قمة نبات متسلق فى مسار دائرى عبر مسافة تقدر بعدة بوصات ، فإذا ما اصطدمت بجسم رفيع كالغصن مثلا ، فانه يقيد هذه الحركة ، وينتج عن الخطران المستمر لقمة الساق أثناء نموها ، التفافها حول هذا الجسم .



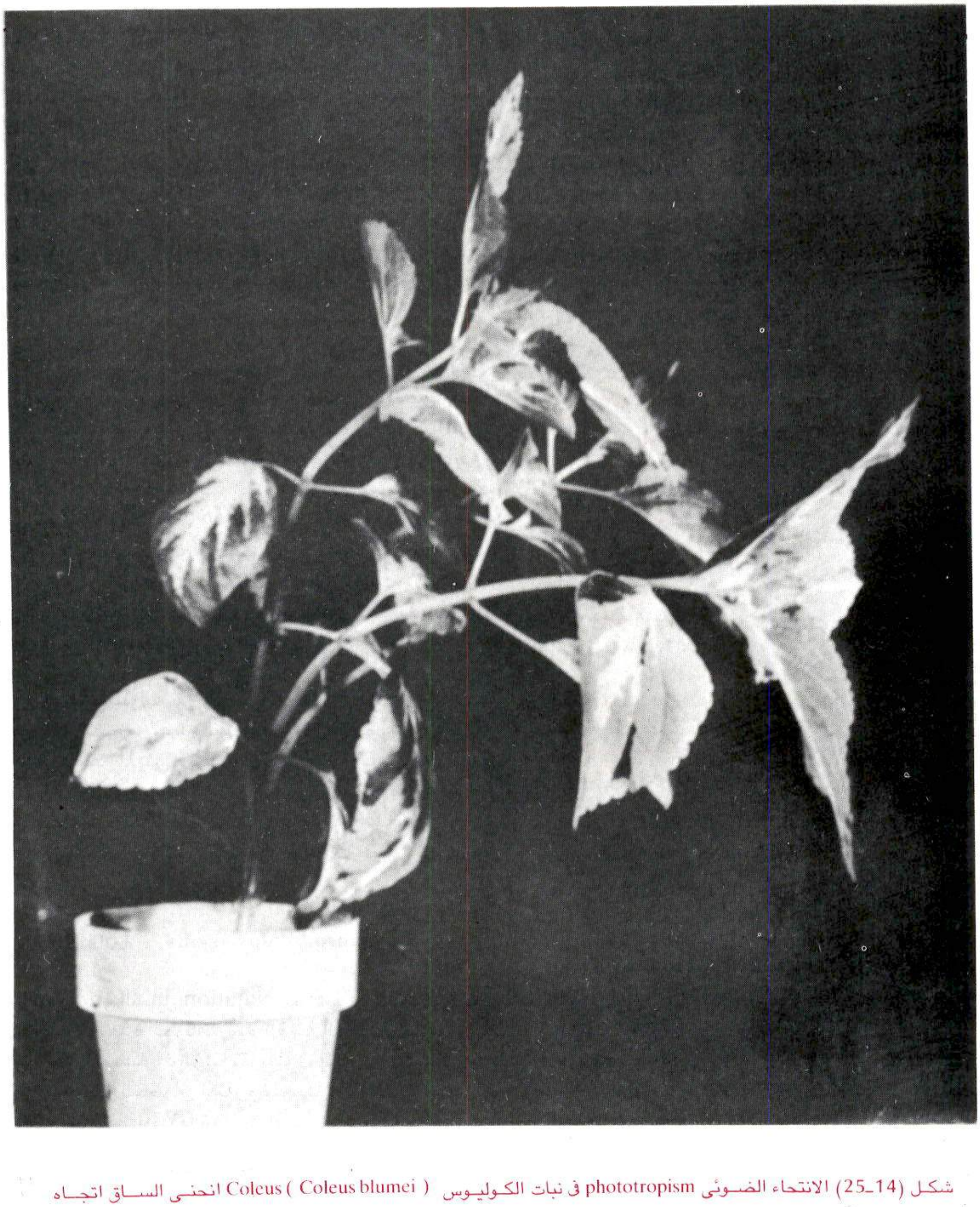
شكل (14ـ24) التفاف السيقان .

(أ) رسم تخطيطى يبين التفاف طرف ساق نامية .

(ب) التفاف مبالغ فيه لساق سريعة النمو لنبات نجمة الصباح morning glory (Ipomea purpurea) نتج عن الالتفاف حول عصا .

الحركات المستحثة Induced Movements

تنقسم الحركة الناتجة من المؤثرات الخارجية الى حركة انتحائية (أو الانتحاءات Tropisms) وحركة لااتجاهية (أو حركات لااتجاهية Nastic Movements) . والانتحاءات هى الاستجابات التى يتحدد فيها اتجاه الحركة بالاتجاه القادم منه المؤثر . وتعتبر الانتحاءات حركة نمو ، كما أنها استجابات للمؤثرات المختلفة ، فهناك الانتحاء الضوئى Phototropism والانتحاء الأرضى Geotropism والانتحاء اللمسى Thigmotropism (وهى حركة الالتفاف استجابة للمس) . ولايوجد فى الحركات اللااتجاهية Nastic Movements ، أية علاقة بين الاستجابة وبين اتجاه المؤثر . ومن أمثلة الحركات

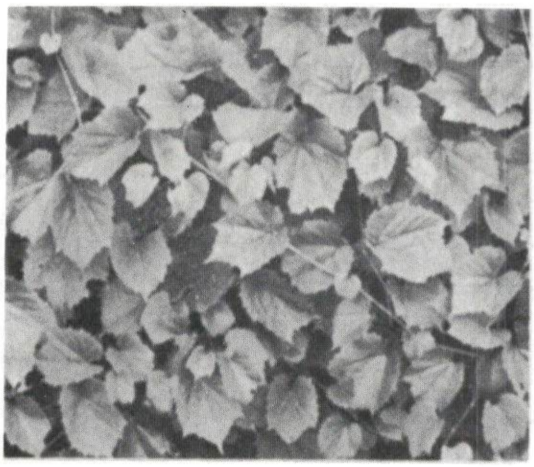


شكل (14_25) الانتحاء الضوئى phototropism فى نبات الكوليوس (Coleus blumei) Coleus انحنى الساق اتجاه الضوء واصبحت نصول الاوراق عمودية تقريبا على اتجاه الضوء .

اللااتجاهية : اللااتجاه الضوئى Photonasty (أو الاستجابة للضوء) . واللااتجاه الحرارى Thermonasty (الاستجابة لدرجة الحرارة) وكذلك اللااتجاه اللمس Thigmonasty (الاستجابة للمس) ومن كل هذه الحركات المستحثة سنتناول الانتحاءين الضوئى والأرضى فقط بمزيد من التوضيح .

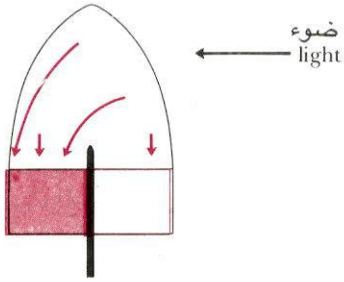
الانتحاء الضوئى *Phototropism*

فى الانتحاء الضوئى يستجيب عادة العضو النباتى استجابة موجبة للضوء القادم من ناحية تزيد فيها شدة الاضاءة عن الناحية الأخرى . فتنحنى أو تميل السيقان والأوراق (أو أعناقها عادة) فى اتجاه مصدر الضوء (شكل 14 ـ 25) . هذا بالنسبة للسيقان والأوراق ، أما بالنسبة للجذور فإنها إما أن تستجيب للضوء بصورة سلبية ، أى تنحنى بعيدا عنه أولا تستجيب له بتاتا . وتنحنى السيقان مباشرة فى اتجاه الضوء ، أما الأوراق فإنها تتجه بحيث يتعامد نصلها بالتقريب مع مصدر الضوء . ويلاحظ ذلك بوضوح خاصة فى المتسلقات التى على سطوح الجدران أو السياج حيث تتجه أنصال الأوراق وأعناقها بحيث تغطى معظم هذه السطوح ولاتترك إلا حيزا ضيقا بها. وترتب الأوراق بحيث تتعرض أقصى سطوحها للشمس ، وأدناها للتراكب وتكون ما يعرف باسم تبرقش الأوراق Leaf Mosaic (شكل 14 ـ 26) .



شكل (14ـ26) شكل زخرفى نتج عن ترتيب اوراق نبات العنب البرى wild grape (Vitis riparia)

وبالرغم من الدراسات العديدة ، فان آلية الاستجابة للانتحاء الضوئى لم تفهم على حقيقتها بعد . ومع ذلك تتضمن الأدلة العديدة أن هذه الاستجابة هى نتيجة لتوزيع الاوكسين وعدم تساوى تركيزه فى العضو النباتى الذى يستقبل الضوء من ناحية واحدة . وتشير تجارب الغلاف الورقى للشوفان أن الانحناء فى عضو خال من صبغة الكلوروفيل قد يتم عندما يتعرض لضوء من مصدر ضعيف وذلك لفترة لاتزيد عن ثانية



شكل (14ـ27) طرف بادرة نبات الشوفان ويوضح الشكل انتقال الاوكسين من الطرف المضىء الى الطرف المعاكس

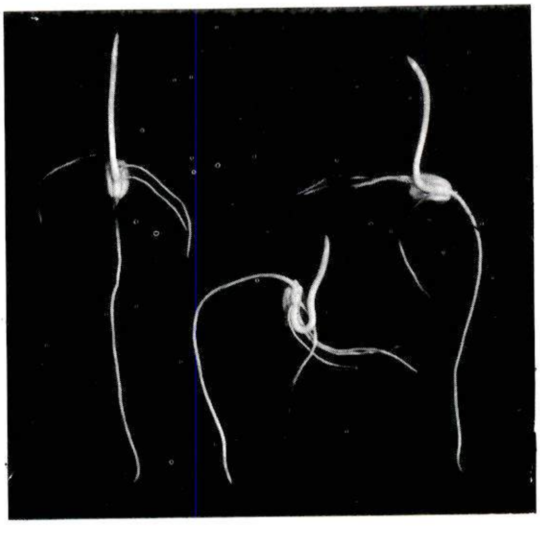
واحدة . ويبدو أن هذه الاستجابة هى نتيجة لانتقال الاوكسين من الجانب المضىء الى الجانب الآخر غير المضىء . ويمكن بالتجربة اقامة الدليل على ذلك بفصل قمة الغلاف (الغمد) الورقى ووضعها على قطعتين من الآجار تفصلهما شفرة خلاقة ، التى تمتد لتقسم قاعدة القمة الى جزئين (شكل 14 ـ 27) . حينئذ تعرض القمة من جانب واحد الى فترة قصيرة من الضوء . فاذا تم ذلك انتشر معظم الاوكسين الى قطعة الآجار التى تقع فى الجانب البعيد عن الضوء . وفى النبات الذى لم يمس بسبب التركيز الأعلى للاوكسين فى جانب القمة البعيد عن الضوء زيادة فى طول الخلايا ، وبالتالى انحناء هذا الجانب فى اتجاه الجانب المضاد .

وفى مقابل هذا الانحناء يوجد انحناء من طراز آخر هو المبين فى شكل (14 ـ 25) ويحدث هذا الانحناء عادة عقب اضاءة تبلغ شدتها مئات من الوحدات (قدم شمعة) لفترة تبلغ عدة ساعات . والحركات الشائعة الانتحائية التى لها أهميتها البيئية فى حياة النبات هى من الطراز الأخير الذى يتعرض فيه النبات الى مثل هذه الفترات الطويلة من الاضاءة المستمرة التى تزيد نسبيا فى شدتها . ولم يعرف بعد آلية هذه الانتحاءات المصاحبة لشدة الاضاءة العالية ، ولكن يعتقد أن الضوء يعمل على اعاقة نشاط بعض النظم التى تشترك فى عملية النمو . بل يظن أيضا أن الاوكسين ليس له دور ضمن هذه النظم .

الانتحاء الأرضى : *Geotropism*

يسمى تأثير الجاذبية الأرضية على اتجاه النمو باسم الانتحاء الارضى . ويوجد نوعان أساسيان من هذه الاستجابة . الانتحاء الأرضى السالب Negative Geotropism ، كما فى نمو السيقان التى تتجه الى أعلى فى نموها ، والانتحاء الأرضى الموجب Positive Geotropism كما فى الجذور التى تتجه الى أسفل فى نموها .

ويمكن مشاهدة التقوس الذى يحدث فى كل من الجذور والساق من تأثير الجاذبية الأرضية بوضع نباتات صغيرة نامية بدرجة نشطة فى وضع أفقى . فسرعان ماتنحنى السيقان الى أعلى والجذور الى أسفل (شكل 14 ـ 28) . وينتج هذا التقوس كما فى الانتحاء الضوئى ، من عدم تساوى معدل النمو فى منطقة الاستطالة ونظرا لطول هذه المنطقة فى الساق ، فان هذا التقوس يحدث خلف القمة على بعد صغير منها . أما فى الجذر حيث تقصر منطقة الاستطالة فان التقوس يقع على مسافة قصيرة خلف القمة .



شكل (14ـ28) الانتحاء الارضى geotropism الموجب والسالب عند استنبات الذرة (Zea mays) (اليسار) استنبتت الحبة فى وضع رئيسى . (اليمين) استنبتت الحبة فى وضع افقى . (الوسط) وضعت الحبة مقلوبة . صعدت الساق الى الاعلى فى كل الحالات (انتحاء ارضى سالب) بينما نما الجذر الى الاسفل (انتحاء ارضى موجب) .

وفى حالة الانتحاء الأرضى ، يفسر الانحناء أيضا على أساس تأثير الاوكسين على النمو . فعند وضع الساق أفقيا يزيد تركيز الاوكسين فى الجانب السفلى تحت تأثير الجاذبية الأرضية عن الجانب العلوى . وتؤدى الزيادة فى تركيز الاوكسين فى الجانب السفلى الى زيادة معدل النمو فى هذا الجانب وعلى ذلك تنحنى الساق الى أعلى . وأضحى من المحقق صحة هذا التفسير تماما ، كما تأيد بأدلة تجريبية كثيرة ، منها استعمال اوكسين ذى نشاط اشعاعى والكشف عن حركته الجانبية .

والاعتقاد السائد هو أن مايحدث فى حالة نمو الجذر وهو فى وضع افقى يشابه تماما ما يحدث فى حالتى نمو الساق ، والغلاف الورقى ، وهما فى هذا الوضع أيضا ، من زيادة تراكم الاوكسجين فى الجانب السفلى عن الجانب العلوى . إلا أن منطقة الاستطالة فى الجذر أكثر حساسية للأوكسين من مثيلتها فى الساق ، وبذلك يعتبر التركيز فى الجانب السفلى عاليا جدا بحيث يثبط النمو أكثر من ان ينشطه وعلى ذلك يستمر نمو السطح العلوى للجذر وبالتالى تنحنى قمة الجذر الى أسفل ويظن أن اعاقة نمو الجذور فى الجانب السفلى ليس نتيجة مباشرة لفعل الاكسين بقدر ماهو من فعل الاثيلين الذى يتكون نتيجة لزيادة تركيز الاوكسين .

الخلاصة : Summary

1 ـ تتم عملية النمو ، وهى الزيادة غير الانعكاسية فى حجم النبات نتيجة لانقسام الخلية وتكبيرها ، ويصحب عملية التكوين لجسم النبات المنسق عملية التمايز .

2 ـ تبدأ عملية تكوين جسم النبات بالبيضة المخصبة ومنه ينشأالجنين وبه المعلق . وعند بدء عملية التمايز فى الجنين يظهر المرستيم الطرفى لكل من الساق والجذر . ويمكن دراسة متطلبات الاجنة أثناء عملية التمايز بفصلها فى مرحلة مبكرة وانمائها فى محلول مغذ .

3 ـ يعتبر المرستيم الطرفى للساق تركيبا على درجة عالية من التنسيق . ويتم تلقائيا تحكمه فى الغالبية العظمى من نشاطاته ، كما انه يعمل على تنظيم وتنسيق عملية التكوين فى الساق .

4- تعمل المجالات المثبطة كما يبدو ، وعلى تنظيم بدايات الاوراق واوضاعها حول القمة وبعد نشأة بدايات الاوراق تمر بعملية أخرى يتحدد فيها مسلكها أثناء عملية تكوينها .

5 - تنشأالبراعم الجانبية من أنسجة مرستيمية تفصل من جسم النبات عند آباط الاوراق .

6 - لا تحمل قمة الجذر زوائد بل تحاط بمشتقاتها المتميزة . وقمة الجذر تشبه قمة الساق فى كونها تتحكم تحكما تلقائيا بدرجة كبيرة فى تكوينها .

7 - يختلف تكوين الخلايا أثناء تمايزها بالرغم من تماثلها فى التركيب الوراثى وذلك بسبب النشاط الانتقائى للجينات . فقد يعوق الجينات التركيبية عائق (اى لا تنشيط) ، وقد لا يعوقها عائق فتنشط ، وذلك بتأثير الجينات المتحكمة . وتؤثر البواعث على عملية التكوين عن تأثيرها على عمليتى الاعاقة واللاعاقة . وتحتفظ الخلايا المتمايزة بقدرتها على عملية التكوين ، كما يتبين ذلك من انتاجها لاشباه الاجنة اذا ما زرعت فى الاوساط الغذائية . وتتمايز انسجتها لتنمو فى النهاية الى نباتات كاملة . وتوضح التجارب التى اجريت على الاكسينات ، الدور الذى تلعبه بواعث معينة فى عملية التمايز ، حيث انها تتحكم فى تمايز الانسجة الوعائية .

8 - يقاس نمو الكائن الحى كله او جزء منه بالزيادة فى حجمه او وزنه . ومنحنيات الرسم البيانى لهذه القياسات مع الزمن تتخذ شكل حرف Sالمميز لعملية النمو .

9 - تنظم الهرمونات عملية النمو فى النبات والمجاميع الثلاثة منها وهى الاكسينات والجبرلينات والسيتوكينينات لها تأثير المنشط . أما المجاميع الاخرى وتشمل حامض الابسيسيك ، وغاز الاثيلين فإن لها تأثيرها المثبط - وهذا التأثير المتبادل بين الهرمونات المنشطة والهرمونات المثبطة له مغزاه وأهميته فى التحكم فى عملية النمو . وتستغل منظمات النمو المخلقة على نطاق تجارى .

10 - يؤثر الضوء على كل من الشكل الخارجى والتركيب الداخلى للنبات فيصبح النبات شاحبا عند حرمانه من جميع الاضواء . وقد تؤثر قوة الاضاءة أيضا على شكل النبات وتركيبه عن طريق تأثيرها على عمليتى البناء الضوئى والتنفس .

11 - فى كثير من النباتات يعمل طول النهار او الفترة الضوئية التى يتعرض لها على تنظيم وقت ازدهارها . فتزهر نباتات النهار القصير اذا قصرت الفترة الضوئية على طول فتراتها الضوئية الحرجة . بينما تزهر نباتات النهار الطويل اذا طالت الفترة الضوئية وتجاوزت فتراتها الضوئية الحرجة . أما النباتات المحايدة فإنها لاتتأثر بطول النهار ، ويعتبر طول الليل من العوامل الهامة فى استجابة النبات لطول النهار . وتؤثر الفترة الضوئية على النمو الخضرى لكثير من النباتات .

12 - تعزى ظاهرة التواقت الضوئى فى النباتات الى تأثير الضوء الاحمر عليه ، حيث تتأثر صبغة الفيتوكروم التى تستحث النبات عن الأستجابة لهذا الضوء . وينعكس تأثير الضوء الاحمر بفعل تأثير الضوء فوق الاحمر . ولصبغة الفيتوكروم أثرها فى عدد آخر من المراحل التكوينية فى النباتات التى تتأثر بالضوء . وللهرمونات النباتية وهى الاوكسينات والجبرلينات ، دور هام ايضا فى السيطرة على النمو .

13 - تؤثر درجة الحرارة على كل العمليات الحيوية فى النبات وفى المجال الحرارى ، حول درجة الحرارة المثلى يتم أفضل نمو لمعظم النباتات . ولكن هذه الدرجة تختلف بإختلاف النبات ، كما تختلف ايضا بإختلاف الزمن . وتتوقف استجابة بعض النباتات للفترة الضوئية على تعرضها مسبقا لدرجة حرارة منخفضة .

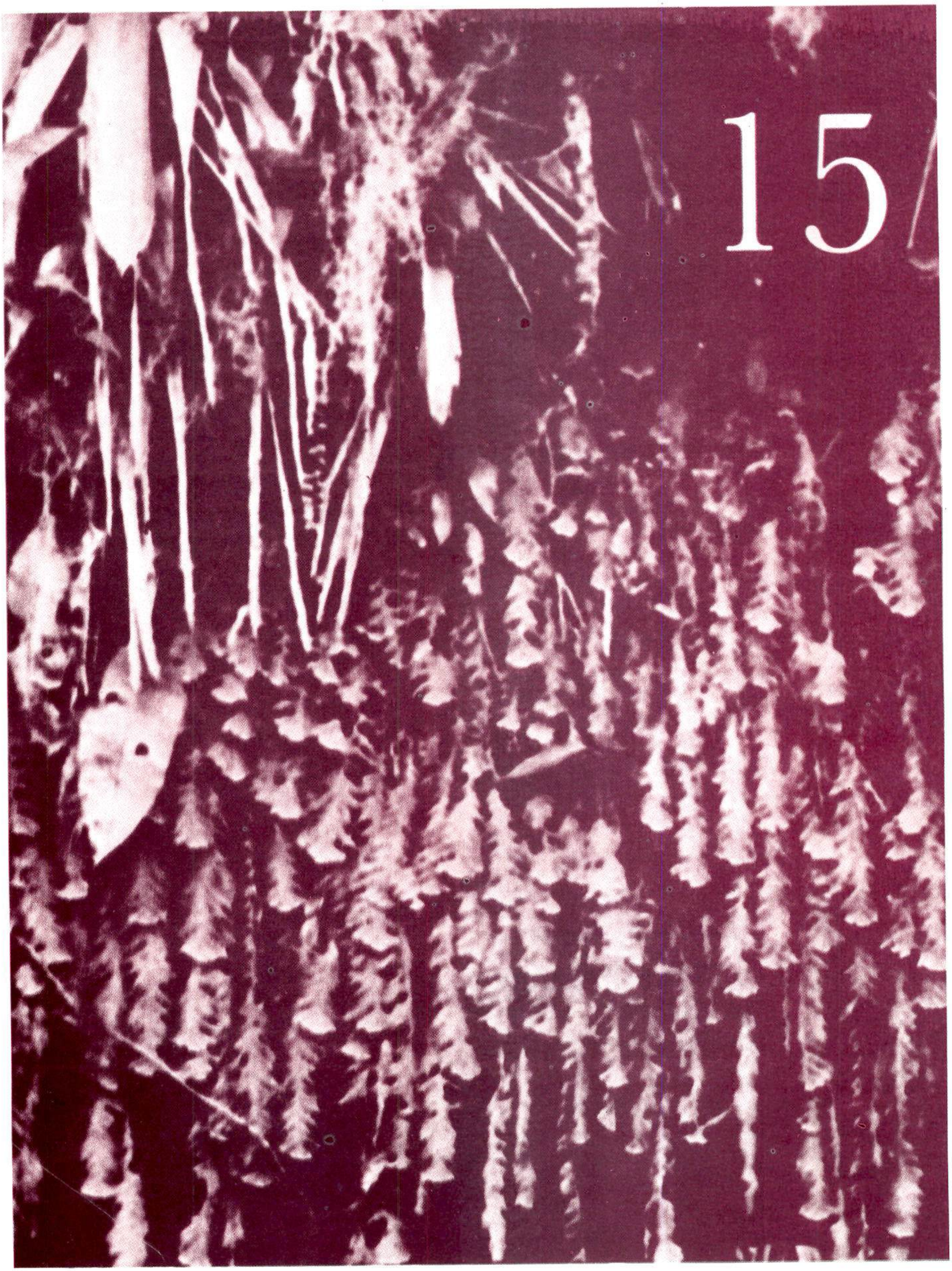
14 - تجتاز معظم النباتات المعمرة فترات من السبات . وقد عرف فى بعض الحالات أن ذلك مرده إلى الهرمونات المثبطة . وغالبا ما تحتاج هذه النباتات الى فترات تعرض فيها لدرجات الحرارة المنخفضة قبل استئناف نموها .

15 - حركات النمو اما تلقائية او مستحثة . والبواعث الداخلية هى التى تسبب حركات النمو التلقائية مثل الخطران أما الحركات المستحثة فتنتج من بواعث خارجية . وتشمل هذه الحركات الانتحاءات والحركات اللاموجهة .

16 - إن استجابة النبات للانتحاءات الضوئية والارضية عموما هى نتيجة لعدم توزيع الاكسينات بالتساوى . فيعمل الضوء أو الجاذبية الارضية على إزاحة الاكسين إزاحة جانبية .

البيئة النباتية
Plant Ecology

15



البيئة النباتية
Plant Ecology

يتوقف متسلقو الجبال قليلا على سطح ناتىء وسط حقول الجليد ليجدوا امامهم النباتات (الأشنات Lichens) وقد نمت فوق الصخور الجرداء . ففى وادى الموت Death Valley فى كاليفورنيا، وهو من أحر المناطق واكثرها جفافا فى الولايات المتحدة، يوجد اكثر من 300 نوع من النباتات المتوطنة. فالنباتات التى تنمو فى الجليد او فى البحيرة الملحية العظيمة (Great Salt Lake)، أو فى الينابيع الحارة. او على شواطىء البحار ورمال الصحراء، بل على ارضية المغارات والمناجم، كل هذا يثبت مدى سعة انتشار النباتات وملاءمتها للاجواء المختلفة.

وعلى وجه التحقيق توضح هذه الامثلة مدى انتشار النباتات فى معظم الاوساط البيئية environments المعروفة ولايقل عن ذلك إثارة وأهمية تلاؤم النباتات وعلاقاتها ببعضها فى اوساط اقل حدة من الاوساط السابقة. ودراسة العلاقة بين النباتات واوساطها يطلق عليها علم البيئة، او الاصطلاح الادق علم البيئة النباتية Plant Ecology فانماط من هذه العلاقة توجد ايضا فى الحيوان، مثلما يوجد كثير منها فى الانسان ايضا. ويشمل علم البيئة النباتية مايعرف باسم الجغرافيا النباتية Plant Geography الذى يختص بدراسة النباتات التى تنتشر فى أماكن عديدة واسعة، ومحاولة تفسير توزيعها ونزوحها فى هذه الاماكن المختلفة.

وتعيش النباتات فى مجموعات يطلق عليها بالمجاميع communities وتشتمل كل مجموعة على نوع او اكثر من النباتات التى تعيش فى منطقة معينة تحت ظروف مناخية متشابهة . وقد تشتمل المجموعة النباتية على كومة من الطحالب العائمة على سطح بحيرة او مجموعة من الأشن على صخر، او حقل من الذرة او غابة متساقطة الاوراق، او مجموعة من النباتات التى تنمو على شاطىء نهر او تل رملى او سهل مغمور بالمياه او اماكن محروقة او مروج جبلية. وعلى حسب التعريف، لاتشمل المجموعة غير كائنات حية. أما إذا شملت عناصر غير حية فاننا ندرس مايعرف بالنظام البيئى ecosystem (الفصل العاشر). وتعتبر دراسة النظام البيئى وكيف تعيش النباتات والحيوانات معا، احد الجوانب الهامة فى علم البيئة.

ويتقارب الاصطلاحان المعروفان باسم الوسط البيئى environment، والموطن او البيئة habitat اشد التقارب وغالبا مايطلق الاصطلاح الاخير على موضع به من نوع معين

من النباتات، أو مجموعة منها تتعايش نباتاتها معا. فقد تطلق كلمة البيئة مثلا على منحدر جاف دافىء فى مواجهة الجنوب او مسطح وحل، او مهواة رطبة بين جبلين، او سبخة او أرضية غابة رطبة، او شاطىء رملى ويعنى ذلك ان كلمة البيئة تطلق على موطن ذى ظروف وأحوال معينة. وعلى ذلك تعتبر كلمة البيئة عموما اكثر تحديدا من كلمة الوسط.

وفى النبات يرتبط كل من النمو والتكاثر ارتباطا وثيقا بالوسط ومظاهره الكيميائية والطبيعية كالماء والتربة والرياح ودرجة الحرارة، فالتفاوت الكبير من منطقة الى اخرى فى هذه العوامل هو الذى يسبب هذا الاختلاف فى الاوساط الطبيعية لهذه المناطق وبالتالى فى طرز النباتات التى توجد بها. وتتجمع هذه العوامل التى تسبب هذا الاختلاف، وتعمل معا لتكون وسطا خاص. وفى إطار ذلك يتميز لحد ما، تميزا واضحا، مساهمة كل عامل من هذه العوامل بالرغم من تغيره فى مدى تأثيره. ويمكن دراسة علم البيئة النباتية من وجهتين: الاولى دراسة العوامل البيئية وتأثيرها على الموطن، والثانية دراسة الموطن فى حدود خصائصه وحياة أنماط النبات به. وقد ادرج فى هذا الفصل كل من الوجهتين السابقتين نظرا لأهميتهما.

العوامل البيئية: Ecological Factors

تصنف العوامل البيئية عادة الى: (1) عوامل مناخية مثل المطر وطول النهار، والرطوبة الجوية، ودرجة الحرارة والرياح، وقوة الاضاءة. (2) عوامل التربة وتختص بالطبيعة الكيميائية والفيزيائية للتربة وكمية الماء بها، ودرجة حرارتها، وتهويتها. (3) العوامل الاحيائية وهى نتيجة لنشاط النبات نفسه بها، كما أنها نتيجة لفعل الانسان والحيوانات.

وتتداخل بدرجة كبيرة هذه الفئات من العوامل البيئية فتؤثر كمية الامطار على المحتوى المائى للتربة، ويعمل كل من المطر ودرجة الحرارة على تعديل الخواص الكيميائية والطبيعية للتربة. وتتحدد قوة الإضاءة وأمدها، اما بالعامل المناخى، أو بالعامل الإحيائى حيث تظلل النباتات بعضها. وفضلا عن ذلك فان النباتات تتأثر بجملة من العوامل، وليس بعامل واحد فقط. ولكى نحصل على صورة شاملة لعلاقة النبات بالمؤثرات الخارجية، لابد من اعتبار هذه المؤثرات متكاملة وغير قابلة للتجزئة. ولكى نحصل على صورة اكثر وضوحا لهذه العلاقة، يلزم التمييز بين العوامل المباشرة وغير المباشرة وتأثيرها على النبات. فنتيجة للاحوال المناخية فى الماضى والحاضر تعتبر غابات ولاية اوهايو من الغابات المتساقطة الاوراق وليست من الغابات دائمة الخضرة وقد يسهل رؤية نباتات تفاح (ايار) مايو May apples والاطرليون trillium والسولوموناس Solomon 's seal التى تنمو فى الغابات المكشوفة، كما يسهل مشاهدة نباتات القضبان الذهبية goldenrods والاستر (النجميات) aster والحسك thistle التى تنمو فى الحقول المكشوفة المجاورة. ولكن يصعب ادراك النظم الآلية التى أدت الى توزيع هذه النباتات ونزوحها الى هذه البيئات الخاصة.

وعليه فقد أضحت الدراسة البيئية فى غاية من التعقيد. وبالرغم من هذه الصعوبات، فقد أسفرت هذه الدراسة عن معلومات بيئية كثيرة أسهمت فى تفهم النباتات بصورة أدق، كما أسهمت فى استغلال النباتات، والتربة ومصادر المياه بصورة أفضل. فأى فلاح او بستانى ما هو الا دارس لعلم البيئة بالمران. فبممارسته للعمليات الزراعية، كالزراعة والتسميد والرى والرش، يعمل على تغيير الوسط الذى ينمو فيه النبات، وبالتالى يغير من مسلكه. فالمزارع الذى يهدف بعمله الى المحافظة على التربة وفلاحتها، وذلك بمزاولته لهذه العمليات الزراعية على خير وجه، يدرك أنه يخلق بذلك بيئة خاصة لهذه النباتات فهذه النباتات التى نمت فى هذه البيئات الخاصة تنتج محصولا وفيرا. فضلا عن ذلك فقد يتم تحسين التربة او على الاقل تحتفظ بخواصها.

العوامل المناخية Climatic Factors

درجة الحرارة Temperature تعتبر كل من درجة الحرارة وكمية المطر من العوامل الرئيسية التى تحدد وجود النباتات المتنوعة فى أماكنها، وكذلك انماطها. ويرتبط هذان العاملان، ارتباطا وثيقا ببقاء النباتات على قيد الحياة فتؤثر درجة الحرارة على العمليات الحيوية مثل النتح والتنفس والإنبات والنمو والتكاثر. والنهايتان القصوى والدنيا لدرجة الحرارة لها اهميتها، كما أن مداهما، وكذلك طول موسم النمو، والفترة الخالية من الصقيع لها اثرها ويعتبر موسم

النمو من العوامل الرئيسية التى تحدد المناطق التى يتم فيها زراعة المحاصيل.

فنظرا لأن نبات القطن يحتاج الى فترة نمو طولها 200 يوم أو أكثر، فان زراعته تنحصر فى شمالى الولايات المتحدة وكذلك جنوبى ولاية كاليفورنيا. وفى ولاية كاليفورنيا حيث يوجد وادى ـ امبريال Imperial Valley الذى يغلب خلوه من الصقيع فى الشتاء، وفى تكساس حيث يوجد منخفض وادى ريوجراندى Rio Grande Valley، وكذلك فى الجزء الجنوبى من ولاية فلوريدا، يبلغ الموسم الزراعى 12 شهرا. لذلك فقط وجد أنه بالإمكان زراعة الخضروات فى هذه المناطق لكى تحصل عليها الولايات الشمالية فى غير موسمها. وتنضج بعض أصناف الذرة والقمح الربيعى، اذا قورنت بالقطن، فى موسم زراعى طوله اقل من 100 يوم ويناسب الجو البارد، زراعة البطاطس والكرنب والبازلاء وغيرها من خضروات الحدائق التى تنضج فى موسم زراعى يبلغ طوله 75 ـ 90 يوما. لذلك يمكن زراعتها شمالا حتى الاسكا.

وتؤثر درجة الحرارة المنخفضة على النبات أثناء فترة سكونه كما تؤثر ايضا عليه اثناء فترة نموه ونشاطه. وانخفاض درجة الحرارة اثناء فصل الشتاء تسبب موته او تلف جذوره وقلفه وبراعمه. والصقيع الذى تتعرض له النباتات فى أواخر الربيع يسبب تلفا لنباتات المحاصيل سواء منها الخشبية او العشبية. ويقدر التلف فى محصول أشجار الموالح والخوخ وغيرها من محاصيل الفاكهة بملايين الدولارات. ولا يرجع موت النباتات عند تعرضها لدرجة التجمد الى التأثير المباشر لدرجة الحرارة المنخفضة بل يرجع بالدرجة الاولى الى تكوين الثلج فى انسجتها. فمن الطبيعى أن يؤدى تكوين البلورات الثلجية داخل البروتوبلاست الى موت الخلايا المتجمدة. وفى النباتات الصلبة التى تحتوى على الياف كثيرة لاتتكون البلورات الثلجية فى الاحوال الطبيعية داخل خلايا هذه النباتات، بل يتم ذلك فى المسافات البينية التى بين هذه الخلايا، فإذا انخفضت درجة الحرارة عن درجة التجمد قل الضغط البخارى للماء فى حالته الصلبة عن ضغطه فى حالته السائلة، وعلى ذلك يميل الماء الى الانتشار من الخلايا ليتراكم فى المسافات البينية على هيئة بلورات ثلجية. ويؤدى انتقال الماء من الخلايا الى نزع الماء من البروتوبلازم، وقد يسبب ذلك اذا ما استمرت درجة الحرارة فى الانخفاض، الى تخثر البروتوبلازم وموت الخلايا. وعلى ذلك فموت هذه الخلايا لاينشأ من التأثير المباشر للبرودة بقدر ما هو نتيجة لنزع الماء منها وتجفيفها. وتختلف قدرة النباتات على مقاومة الجفاف وبقائها على قيد الحياة باختلاف الانواع . وتعتبر هذه الخاصية من اهم العوامل التى تحدد توزيع النباتات ومدى انتشارها فى اتجاه خطوط العرض الشمالية . ويعبر عن هذه الخاصية بالاصطلاح المعروف باسم مقاومة الصقيع frost resistance ، او الصمود للصقيع frost hardiness . ومن الطبيعى اعتبار هذه الخاصية من الخواص الموسمية . فمثلا يضر الصقيع الشديد بالنباتات المخروطية ، اما فى فصل الشتاء فان هذه النباتات تتحمل درجات من الحرارة قد تبلغ 60م° (76ف) تحت الصفر او اقل من ذلك . وبعملية تعرف باسم التقسية hardening يمكن زيادة مقاومة النباتات للتجمد . وتتم هذه العملية فى الطبيعة بالانخفاض التدريجى فى درجة الحرارة واقتراب فصل الشتاء . وعادة ما يمارس مزارعو الكرنب عملية تقسيته قبل شتله فى الحقول وذلك بتعريض بادراته تدريجيا لدرجات من الحرارة المنخفضة ، او التقليل من ماء الرى وتؤدى مثل هذه المعاملات الى زيادة مقاومة النباتات سواء لدرجات الحرارة المرتفعة او للجفاف . ويؤدى بطء النمو فى النباتات التى تتعرض لدرجة الحرارة المنخفضة او الجفاف الى ارتفاع نسبة السكر بها . وهذا بدوره يحدث عدة تغيرات فى البروتوبلازم فيزيد من مقاومته لفقد الماء سواء اثناء تبريده او تجفيفه .

التكثيف (المطر): ***Precipitation***

انْ كمية الامطار التى تسقط سنويا هى من اهم العوامل التى تحدد توزيع النباتات ومدى انتشارها . وتوزيع المطر طوال العام وكمية المطر التى تسقط فى كل دفعة ، ومنحدر الارض ، ونفاذية وقوة الاستمساك المائى للتربة water holding capacity ، وسرعة الرياح ، وكذلك درجة الحرارة تعمل كلها على تعديل فعل الامطار وتأثيرها . فتوجد الغابات عادة فى المناطق التى تسقط عليها كمية كبيرة من الامطار ، وتوجد الصحارى فى الاماكن التى يقل فيها المطر ، اما

المناطق التى تسقط عليها كمية متوسطة من المطر فتغطى بكساء خضرى من المراعى او بشجيرات متناثرة .

والتوزيع الموسمى للمطر اهم بكثير من كميته ككل . فبالنسبة للزراعة يفضل عادة سقوط الامطار فى الربيع واوائل الصيف عن سقوطها فى الخريف او الشتاء . وقد توجد الغابات فى المناطق التى تقل نسبيا كمية الامطار التى تسقط عليها ، اذا انحصر سقوطها فى الشتاء ، ربما على شكل جليد ، لانها تعمل على نقع طبقة عميقة من تحت التربة بالماء . اما اذا سقط المطر فى فصل الصيف تحت نفس الظروف والاحوال ، فانه يشجع نمو النباتات ذات الجذور الضحلة مثل النجيليات .

وتعتبر درجة الحرارة من العوامل غير المباشرة فى تحديد كمية الامطار المتساقطة وتأثيرها . فتزيد درجات الحرارة العالية من معدل عملية تبخير الماء من التربة ، واهم من ذلك تزيد من معدل عملية النتح . فمثلا يحتاج محصول القمح الذى يزرع فى ولاية اوكلاهوما الى ما يقرب من ضعف كمية المطر التى تسقط على الجزء المركزى من ولاية ساسكاتشوان ذات الجو البارد .

وفى التخطيط الزراعى بعيد المدى ، لا يكفى معرفة كمية الامطار التى تسقط سنويا ، بل من الضرورى معرفة معدل تبخير الماء ، وكذلك درجة احتفاظ التربة به حتى يتسنى حساب كمية الماء المطابقة للواقع والتى تتاح للمحصول وينتفع بها . فالامطار الخفيفة التى تسقط فى جو جاف لا تؤثر عادة على المحتوى المائى للتربة ، لان هذه الامطار تنفذ الى اسفل حيث لايوجد المجموع الجذرى ، بل تتبخر من سطح النباتات والتربة . كذلك قد لايتأثر المحتوى للتربة الا قليلا بسقوط الامطار الغزيرة حيث انها تنزلق بدرجة كبيرة .

الماء وعلاقته بالموطن وتركيب النبات : *Water in relation to habitat and plant structure*

تصنف النباتات على اساس طبيعة الموطن الذى يلائمها الى ثلاثة اقسم هى : (1) النباتات الوسطية mesophytes . (2) النباتات الصحراوية Xerophytes . (3) النباتات المائية hydrophytes . وتنمو النباتات الوسطية فى اوساط لاهى رطبة بدرجة كبيرة ، ولا هى جافة جدا ، ومن امثلتها المروج والغابات التى تنمو فى المناطق المعتدلة ، كذلك ما يناظرها فى المناطق الاستوائية . ومن المألوف لدينا تركيب النباتات الوسطية وملاءمتها للوسط ، وذلك لان معظم النباتات الوعائية تتبع هذا القسم . ولا يوجد حد فاصل واضح بين هذه النباتات وبين غيرها من النباتات التى تلائم الاوساط الاكثر جفافا من جهة ، والنباتات التى تلائم الاوساط الاكثر رطوبة من جهة اخرى .

ويمكن تعريف النباتات الصحراوية بصورة عامة باعتبارها نباتات تلائم الحياة . والبقاء فى ظروف بيئاتها التى بها كمية محدودة من الماء . وقد تتعرض هذه النباتات بصورة مستمرة او على فترات لهذا النقص فى الماء . وتتميز النباتات الصحراوية بوجودها فى مناطق صحراوية او شبه صحراوية . كما توجد هذه النباتات فى المناطق الوسطية ، مثل التلال الرملية والشواطىء والسلاسل الصخرية وسفوح الجبال ، حيث لا يتيسر لها ما يكفيها من الماء . وفى المناطق التى تكفى كمية الامطار السنوية لنمو النباتات الوسطية ، تحل النباتات الصحراوية محل النباتات الوسطية ، وذلك اذا ما تميز مناخ هذه المناطق بفصول محددة بعضها رطب والبعض الآخر جاف . وتتحمل النباتات الصحراوية ، اكثر من غيرها فترات الجفاف الموسمى .

وتنمو النباتات المائية فى الماء او قريبة منه حيث تغمر غمرا جزئيا او كليا به وتنمو بعض هذه النباتات على اليابسة حيث تتشبع التربة بالماء . ويظن ان كلا من النباتات الصحراوية والمائية قد نشأت من النباتات الوسطية حيث تطورت وتغيرت لتلائم البيئات المستحدثة وقد برزت اثناء هذا التطور صفات سيولوجية وتركيبية سلكت بها هذه السبل فارتبطت بطبيعة الوسط الذى تنمو فيه .

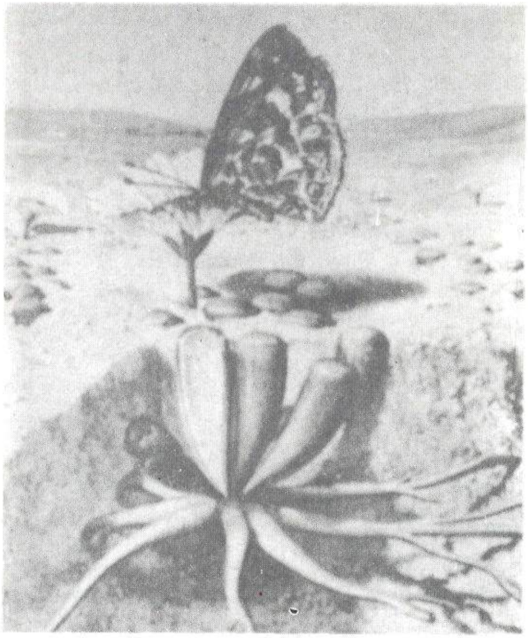
شكل وتركيب النباتات الصحراوية : FORM AND STRUCTURE IN XEROPHYTES

لاتشترك النباتات الصحراوية كلها فى المظاهر التركيبية او

الفسيولوجية . فبعض هذه النباتات عصارية شحمية ، وغيرها تفتقر الى هذه الصفة . فالنباتات الصحراوية تكون مجموعة غير متجانسة ، وليست كلها نباتات صحراوية «حقيقية».

وتعتبر النباتات العصارية succulents من النباتات الصحراوية التى تم فيها التخصص بدرجة كبيرة . ومن بين العوائل النباتية التى تحتوى على نباتات عصارية عوائل نبات الكاكتوس cactus ، والفربيون spurge وحشيشة اللبن milkweed ، والسيدوم stonecrop والزنبق والنرجس amaryllis . واهم ميزة للنمط العصارى أن معظم جسم النبات يتكون من خلايا لتخزين الماء تعمل على صيانة النبات وبقائه حيا اثناء فترات الجفاف . وتكون السيقان والاوراق عادة الاعضاء العصارية ، ويندر تشحم الجذور . واذا ما تشحمت الاوراق ، اختزلت الساق عادة ، وبالعكس اذا كانت الساق هى العضو المتشحم ، فان الاوراق تختزل بدرجة كبيرة او تختفى . وتزيد النسبة بين حجم المجموع الساقى وبين سطحه ، وهذه الخاصية ، بالاضافة الى غلظ طبقة الكيوتين ، تعمل على الحد من كمية فقد الماء ، وبالتالى من انخفاض معدل عملية النتح . وقد توصف النباتات العصارية بانها نباتات تتحمل الجفاف ، والاصح ان يقال انها نباتات تقاوم الجفاف .

ويوجد فى الصحراء الرملية لجنوب افريقيا نبات من عائلة حشيشة البساط carpet weed (شكل 15ـ1) يبلغ التخصص به مداه . فهذا النبات الذى ينمو فى الرمال ذو اوراق صولجانية الشكل ، يبلغ طولها حوالى 37 مم ، ولا يظهر للعين من كل ورقة منها الا قمتها وهى مسطحة او محدبة قليلا عديمة اللون او ذات لون رمادى . ويحاط الغلاف الخارجى الاخضر الرفيع للاوراق بكتلة من خلايا متراصة باحكام لاختزان الماء . وتغطى قمة الاوراق هذه المعرضة بطبقة سميكة من البشرة والكيوتين وبها عدد قليل من الثغور ويظن أنه عن طريق هذه الاجزاء التى تشبه الشبابيك ، يصل الضوء الى الاوراق وينفذ إلى صبغة الكلوروفيل المتراصة على طول السطح الداخلى للاوراق . وبهذه الطريقة تصان كل ورقة من الاوراق من الجفاف ، ولكن فى الوقت نفسه تعرض مساحة كبيرة من السطح

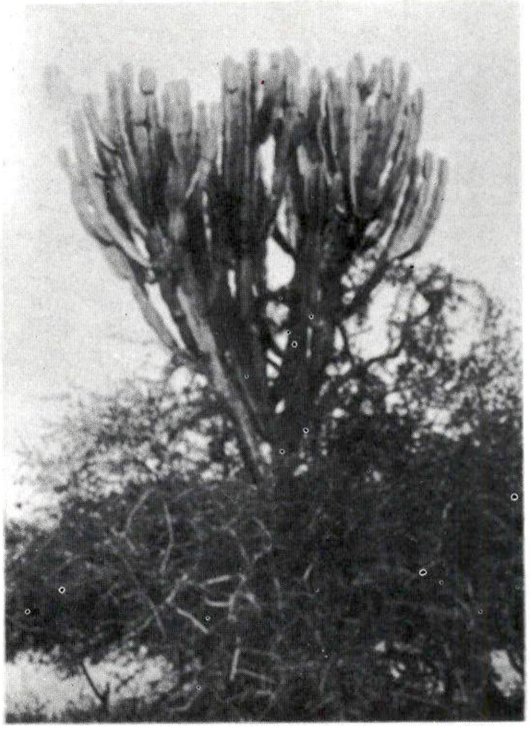


شكل (15ـ1) نبات عصارى من الفنستريريا (Fenestraria rhopalophylla) ذو اوراق متضخمة (جنوب افريقيا)

للضوء . وفى اثناء فصل التزهير ، ينمو البرعم الزهرى الى اعلى ويخترق التربة ويتعرض للهواء حيث تحدث عملية التلقيح ويتم انتشار البذور .

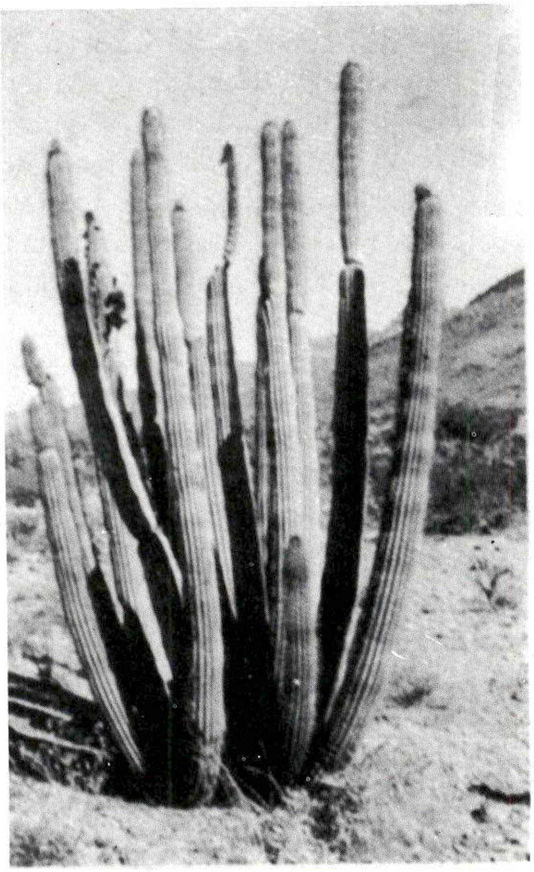
وفى النباتات العصارية يبدو بوضوح وجلاء المبدأ القائل بامكانية تطور النباتات اثناء عملية تكوينها بحيث تبدو متشابهة فى شكلها الخارجى ، تشابها مثيرا ، بالرغم من تباعدها فى صلة القرابة ، فمثلا تتشابه تشابها واضحة الانواع التى تنمو فى صحارى افريقيا وتتبع فصيلة نبات التنوب الفضى Spruce ، مع انواع الكاكتوس التى تنمو فى صحارى امريكا ، وتتبع فصيلة الصبار ، بحيث يظن ان كلا النوعين (فى غياب الزهرة وهى ميزة من مميزات كل نوع)، بينهما صلة قرابة قوية (شكل : 15ـ2 ، 15ـ3).

البشرة (3) غور الثغور ، (4) نمو النسيج العمادى نموا زائد على حساب النسيج الاسفنجى البرنشيمى ، (5) الزيادة فى النسج الميكانيكى مثل الالياف التى تصاحب النسيج التوصلى أو التى توجد تحت البشرة ، (6) صغر الخلايا واندماجها ببعضها ، وأخيرا (7) قدرة الورقة على الطى أو الألتفاف (شكل 15 ـ 5) . وينتشر نسبيا وجود هذه الصفة فى النجيليات الصحراوية ولا توجد الثغور أساسا إلا على السطح العلوى للأوراق ، فإذا ما انثنت الورقة أو التفت انخفض معدل فقد الماء منها .

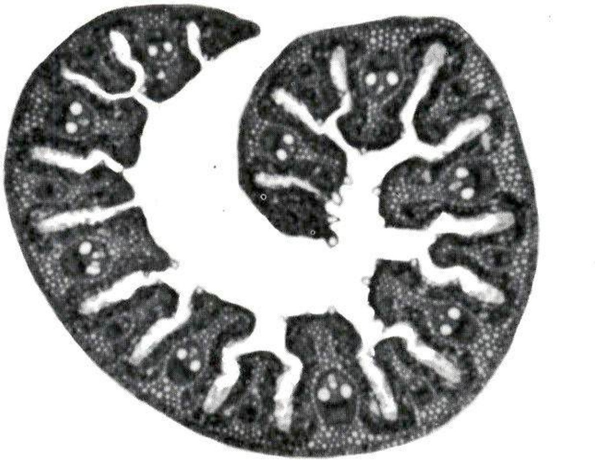


شكل (15ـ2) نبات الفربيون (التيوع) spurge (Euphorbia ingens) فى صحراء جنوب شرق افريقيا . لاحظ وجه الشبه مع نبات الكاكتس على الرغم من اختلاف العائلة ، انظر شكل (15ـ3).

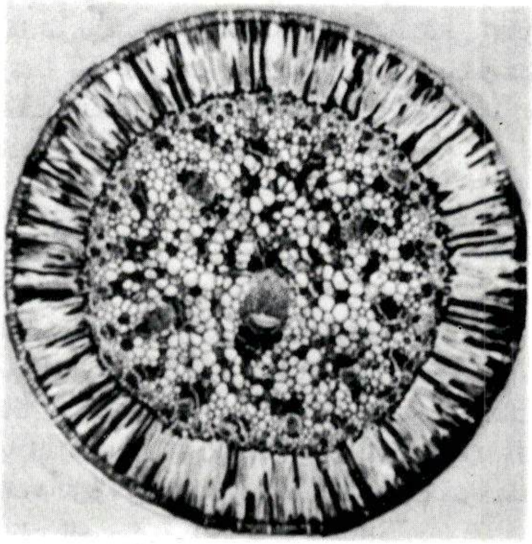
شكل (15ـ3) كاكتس انبوب الارغون Organ - pipe cactus (Lemairocereus thurberi) قارن مع شكل (15ـ2).



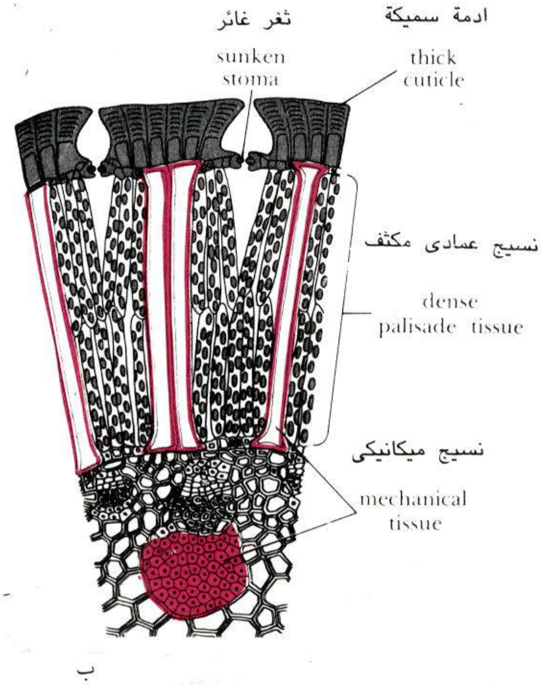
والنباتات الصحراوية التى ليست عصارية ، مثلها مثل الانماط العصارية ، تعتبر من النباتات المعمرة تشمل اشكالا عشبية من النجيليات ، كما تشمل ايضا انواعا خشبية . وكثير من الانواع الاخيرة دائمة الخضرة تقريبا او على الاقل تحتفظ باوراقها اثناء فترات الجفاف . ويظهر عادة فى اوراق هذه النباتات تحورات جفافية تسهم فى الاحتفاظ ببقائها حية اثناء فترات الجفاف . ويوجد آلاف بل ملايين من الاميال المربعة من الكرة الارضية تكسوها خضرة تتميز بصفاتها الجفافية . من بين التحورات الجفافية (شكل 15 ـ 4) (1) صغر الاوراق وطبيعتها الجلدية ، (2) سمك طبقة الكيوتين ، وكذلك غلظ جذر خلايا



شكل (15ـ5) قطاع عرضى فى ورقة ملفوفة لنجيل صحراوى ـ اموفيلا (Ammophila arenaria) الورقة ملفوفة الى اعلى . يخلو سطحها الاسفل من الثغور بينما يكتظ السطح العلوى بالثغور على اخاديده .



أ



ب

شكل (15ـ4) تركيب ورقة نبات صحراوى ـ الهاكيا (Hakea platysperma) تقترب الورقة من شكل الاسطوانة يبلغ طولها عدة بوصات وطرفاها مستدقتان .

(أ) قطاع عرضى كامل .

(ب) جزء من قطاع عرضى مكبر لتوضيح التفاصيل .

وكان يظن فى الماضى أن تحورات الأوراق فى النباتات الصحراوية تعمل على خفض معدل النتح الثغرى ، وقد أوضحت التجارب عكس ذلك تماما . ففى مثل هذه النباتات ، وفى الظروف التى تفتح فيها الثغور ويتوفر الماء تبلغ قمة النتح لكل وحدة سطحية منها مثيلها فى النباتات الوسطية ، إن لم تفوقها ، وذلك فى نفس الظروف السابقة . أما هذه المظاهر التركيبية فإن أثرها لا يتضح إلا فى ظروف الجفاف . فإذا اغلقت الثغور فإن سمك طبقة الكيوتين تعمل على خفض النتح الكيوتينى حتى يقرب من الصفر . ويحول النسيج الميكانيكى دون تهدل الورقة نتيجة لنزع الماء منها وعلى ذلك فإن النباتات الصحراوية لا تتأثر كثيرا بعملية التجفيف كما تتأثر النباتات الوسطية .

فحياة النباتات الصحراوية وبقاؤها حية لا يتوقف على المظاهر التركيبية فحسب بل يتوقف أيضا على البروتوبلازم ومقدار تقسيته وتحمله لشدة الحرارة والجفاف ، كما تعمل هذه الخاصية على إطالة حياة النبات أثناء الفترات التى يندر فيها وجود الماء .

وقد أثير جدل شديد حول النباتات الصحراوية وعلاقتها بالوسط ، وكثير من نواحى هذا الموضوع مازال غامضا . فالبرغم من أن الوسط الجاف يعتبر عادة من المميزات التى تتميز بها النباتات الصحراوية فإن التحورات الجفافية قد توجد أيضا فى النباتات التى لا تتميز عادة فى الأوساط الجافة فالعالقات epiphytes (وهى نباتات تنمو معلقة على غيرها) ، التى تنمو على كنة canopy كثير من الغابات الاستوائية الممطرة مثلا ، تحتوى على نباتات عصارية ، مثل أنواع الصبار ، كما تحتوى أيضا على نباتات غير عصارية بها تحورات جفافية كتغلظ الأوراق وتجلدها . ومن بين هذه النباتات المروج الخلنجية heaths والاراكيد وكثير غيرها . ومع ذلك فإنه يمكن اعتبارا العالقات من النباتات الصحراوية لانها تعتمد على المطر لمدها بالماء اللازم ـ ولكى تبقى حية لابد أن تتحمل أو تقاوم فترات الجفاف التى تتعرض لها بين الفترات الممطرة .

وتوجد التحورات الجفافية أيضا فى المخروطيات وكذلك فى النباتات الزهرية دائمة الخضرة ، خصوصا التى تنمو منها على جبال الالب . فقد تتعرض النباتات المخروطية للجفاف إذا ما بردت التربة أو تجمدت . وقد تتعرض نباتات الالب الدائمة الخضرة إلى الجفاف بفعل الرياح ، أو الجفاف الوقتى أو إلى التربة الباردة أو التجمد التى يصعب الحصول على الماء منها .

ولا تحتوى كل النباتات الصحراوية غير العصارية على التحورات الجفافية . فأوراق كثير من الشجيرات الصحراوية غير سميكة ، ومعدل نتحها مرتفع وذلك إذا ما تيسر الماء لها . ولهذه النباتات مجاميع جذرية متشعبة تتعمق فى التربة ، وتشغل حيزا كبيرا وغالبا ما تسقط أوراقها إذا ما بدأت تذبل ، وتحمل بدلا منها أوراقا جديدة اذا ما عادت الامطار . وهذه النباتات ، مثلها فى ذلك مثل النباتات الصحراوية التى لها تحورات جفافية ، تتحمل الجفاف أثناء الفترات غير الممطرة . وبمثل هذه الملاءمة تتمكن كثير من النجيليات المعمرة من الحياة والبقاء فى المناطق المجدبة (شكل 15 ـ 9) . فتنمو هذه النباتات بسرعة فى فصل الربيع أو الفصول الممطرة . وبعد أن تبلغ اغصانها الهوائية كامل نموها تموت عند حلول فصل الجفاف . وقد تبقى الاجزاء الارضية حية مدى عام أو أكثر بدون مطر ، بينما تكون الاغضان الجافة علفا للاغنام والماشية على امتداد المراعى القاحلة .

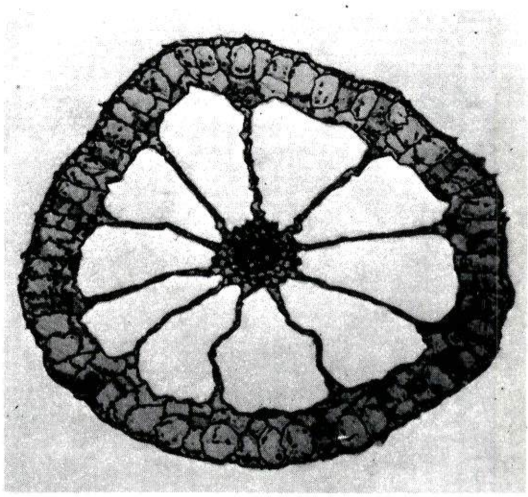
ومن النباتات غير العصارية التى لا تحتوى على مثل هذه التحورات أنماط من الحوليات قصيرة العمر ephemerals ، لا تنشط فى نموها إلا أثناء فصل ممطر قصير . فاذا ما هطل المطر نبتت بذورها ونما النبات بسرعة مكونا أزهارا وبذورا فى بضعة اسابيع . وعند حلول الجفاف لا يبقى جزء حى من النبات غير بذوره . ومثل هذه النباتات تفلت من الجفاف ، لانها قادرة على إتمام دورة حياتها فى فترة قصيرة ، قبل جفاف التربة . وتصنيف الحوليات قصيرة العمر ضمن النباتات الصحراوية محل بحث وتساؤل .

والارجح أن النباتات الصحراوية الحقيقية تتميز بمميزات لا ترتبط بالاختلافات المرفولوجية بقدر ما ترتبط بالمميزات الفسيولوجية وهى :

(1) ارتفاع معدل عملية البناء الضوئى فى الظروف المناسبة وبكمية الماء المتاحة لها ، كذلك ارتفاع النسبة بين مكونات هذه العملية وبين كمية الماء التى تستنفذها . (2) قدرة هذه النباتات على ايقاف عملية البناء الضوئى فجاة ، وتحولها الى حالة غير نشطة اثناء الجفاف ، كذلك قدرتها على العودة بسرعة الى حالتها النشطة فى الاحوال المناسبة . (3) انخفاض معدل عملية التنفس بدرجة كبيرة واستغلالها للمواد الغذائية اثناء الفترات غير النشطة .

شكل وتركيب النباتات المائية FORM AND STRUCTURE OF HYDROPHYTES

بعض النباتات المائية تعيش عائمة طليقة على سطح الماء وبعضها مغمورا به ، أما البعض الآخر فينمو بارزا على سطحه . وتنمو مثل هذه النباتات وتعلو فى الهواء ولكن الجذور أو الريزومات تتشبث بالوحل بعمق يبلغ قدما او أكثر . وعادة يتميز التركيب الداخلى للنباتات المائية بوجود نظام للتهوية جيد التكوين (شكل 15 ـ 6) ويحتوى هذا النظام على حجرات هوائية تتسع بدرجة كبيرة بين الخلايا وتمتد عبر النبات . وغالبا ما يختزل النسيجان الميكانيكى والتوصيلى فى خلاياهما التى يقل سمك جدرها عن نظيرة فى



شكل (15ـ6) قطاع عرضى فى ساق النبات السيراتوفيلم المائى (Ceratophyllum demersum) ويبين المسارات الهوائية ، والنظام الوعائى المختزل .

معظم النباتات . وتختفى طبقة الكيوتين من أوراق النباتات المائية المغمورة ، كما يختزل حجم المجموع الجذرى أو يختفى تماما . وعادة ما تتحور الاوراق فتصبح رفيعة أو على شكل شرائط ، أو مشرحة . وبعض النباتات التى تبرز فوق سطح الماء ، مثل نبات البردى بالرغم من وجود حجرات هوائية فى انسجته إلا انه يحتفظ بالنسيجين الدعامى والتوصيلى متينى البنيان وبخاصة فى ريزوماته .

وتحصل النباتات المغمورة على ما يلزمها من الاوكسجين اللازم لعملية تنفسها من هذا الغاز الذائب فى الماء ، مثلها فى ذلك مثل الاسماك ، ومن الغاز المنطلق من عملية بنائها الضوئى . وفى النباتات التى تبرز فوق سطح الماء لا تعتمد لحد ما الريزومات والجذر وغيرها من اجزائها المغمورة على الاوكسجين الذائب فى الماء الذى يحيط بها ، بل تعتمد على هذا الغاز الذى ينتشر طليقا من الاعضاء الهوائية الى أسفل عبر الممرات التى توجد فى الاوراق ـ والسيقان . وجزء من هذا الغاز مصدره الهواء الجوى ، أما الجزء الآخر فمصدره عملية البناء الضوئى . ويندفع غاز الاوكسجين بكمية كبيرة الى اسفل من الاجزاء العليا لهذه النباتات ، بحيث يوجد جزء منه فى الوحل الذى حول الجذور .

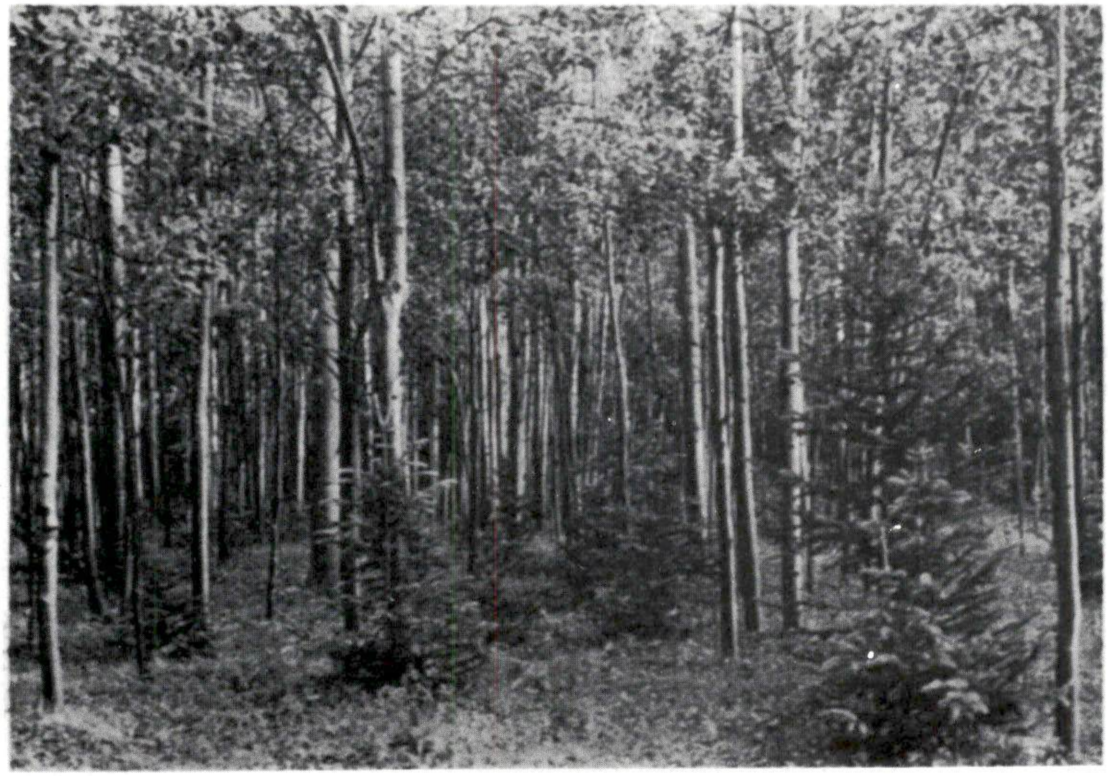
الضوء : *Light*

الضوء هو العامل الهام الثالث من العوامل المناخية التى تعمل على تحديد وتوزيع النباتات وكذلك تجمعها فى عوامل . وقد سبق وصف تأثير الضوء على نمو النبات وتزهيره وعملية بنائه الضوئى . واوضح أثر لشدة الاضاءة المنخفضة هو عجز النجيليات عن النمو اذا ما استظلت بالاشجار التى تحمل أوراقا كثيفة (شكل 5 ـ 21) . فقد يختفى الرتم او البساط النباتى الاخضر undergrowth تماما من أرضية الغابة اذا خفت الضوء الذى يصلها . وإذا ضاقت المسافة بين الاشجار النامية تسبب الظل فى موت الفروع السفلية .

ولكثير من الانواع النباتية احتياجاتها المحددة من الضوء . وبعض الانواع قادرة على النمو والبقاء حية تحت ظروف شدة ضعف الاضاءة كتلك التى تتعرض لها ارضية الغابة وتوصف هذه الانواع بانها من النباتات التى تتحمل الظل shade tolerant . أما غيرها من الانواع التى تحتاج الى قوة إضاءة عالية فإنها توصف بانها من النباتات التى لا تتحمل الظل Shade intolerant ويطلق هذان الاصطلاحان غالبا على الاشجار ، كما يطلق على الشجيرات والاعشاب .

يمكن التعرف على هذين النوعين من النباتات بدراسة الاشجار الصغيرة وهى تنمو فى ظل كنة canopy الغابة . فبعض النباتات الخشبية مثل القيقب السكرى sugar maple والزان beech . والزيزفون basswood والصمغ الاسود black gum والتنوب والتنوب الفضى spruce (شكل 15 ـ 7) . والبعض الآخر منها مثل الحور الرجراج aspen وقان الورقة paper birch والصفصاف willows والبيلسان boxeldr والبلوط bur oak وبعض الصنوبريات لا تحتمل الظل .

وتعتبر الانواع النباتية التى تتحمل الظل ذات اهمية خاصة فى الغابات حيث لا مفر لبادراتها من النمو والتشبث



شكل (15ـ7) تحمل الظل . نبات التنوب انجلمان ـ الفضى (Engelmann spruce (Picea engelmannii وهو من النباتات التى تطيق الظل . وينبت فى ارضية غابة كثيفة لاشجار الحور الرجراج (aspen (Populus tremuloides

بأرضية الغابة تحت هذه الظروف الظليلة . واكثر البادرات احتمالا للظل هى التى تبقى حية تحت ظروف من قوة الاضاءة لا تزيد عن 2 أو 3 فى المائة من ضوء الشمس الكامل، ولكنها تموت اذا كبرت واحتاجت الى المزيد من الغذاء ويستمر عدد من الانواع النباتية فى النمو مدة من الزمن اذا ما بلغت قوة الاضاءة 5 فى المائة من ضوء الشمس الكلى . وتتأهب النباتات الصغيرة التى من هذا الطراز الى البدء فى النمو بسرعة اذا ما حدثت فرجة فى كنة الاوراق المسنة تسمح بمرور مزيد من الضوء .

وبالرغم من ان خاصية تحمل النباتات للظل ذات اهمية فى تحديد النوع النباتى ورسوخه فى منطقة معينة، الا ان التنافس على الماء وعناصر الاملاح المعدنية يعتبر اكثر اهمية مما يمكن ادراكه عادة . وفى بعض المواقع يعتبر الضوء اكثر اهمية اما فى البعض الاخر فان الضوء وتنافس الجذور يعملان معا على حلول او سيادة نوع معين من النباتات، وخاصية تحمل الظل فى الاشجار الخشبية الثمينة ومعرفتها تعتبر على جانب كبير من الاهمية فى تشييد الغابات والاراضى المشجرة والاستفادة منها .

ومن المحاصيل الاستوائية التى تتحمل الظل البن coffee والكاكاو cacao ويوجد اختلاف كبير فى الرأى حول اهمية الظل فى زراعة هذه الاشجار ولا يعتبر الظل عادة من الامور الضرورية لزراعة البن . ففى غياب الظل امكن الحصول على اكبر قدر من المحصول اذا زرع على ارتفاع 3000 قدما او اكثر وفى تربة غنية بها نسبة عالية من الماء والهواء وفى

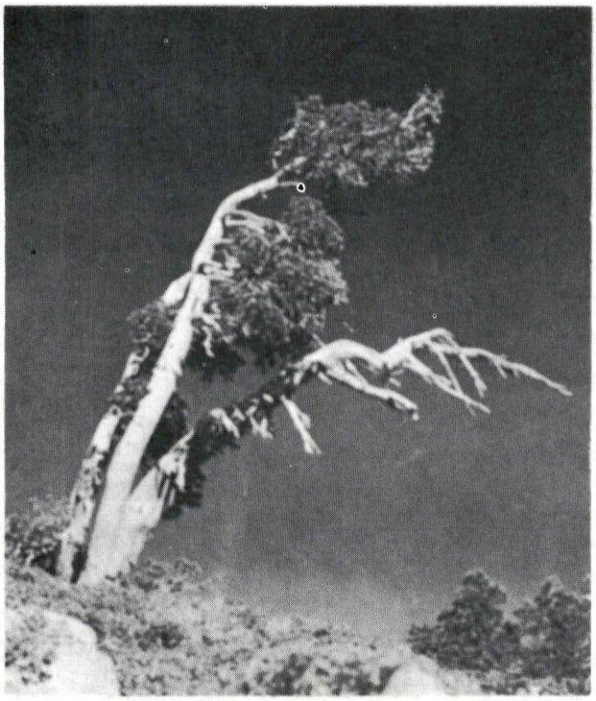
الارتفاعات المنخفضة وفى ظروف اقل ملاءمة ينمو البن ايضا بدون ظل . وقد يفيد الظل حواف المزارع نظرا لتعرضها لظروف خاصة وينخفض الانتاج فى الظل ولكنه يطيل من فترة الحياة المثمرة للشجرة ومما يبرر زراعة اشجار الظل خصوصا اذا كان من البقوليات الخشبية ما تساهم به من تسميد للتربة . وغالبا ما تنمو اشجار البن البرازيلى فى غياب اشجار الظل وذلك لأن المحتوى المائى للتربة لا يسمح لكل من اشجار الظل واشجار البن بالنمو . وتشبه اشجار الكاكاو واشجار البن فى مسلكها . فالظل ضرورى فى زراعة هذا المحصول طالما كانت الشجرة صغيرة واهم ميزة لذلك هى المحافظة على المواد العضوية التى توجد على الطبقة السطحية للتربة وحمايتها من التفتت بفعل درجة الحرارة العالية . ويمكن ازالة اشجار الظل بعدما يبلغ نمو الاشجار حالته المثالية . اما اذا كانت التربة فقيرة فى خصوبتها فيزرع المحصول تحت ظل دائم .

عوامل التربة : Soil Factors

فى معرض دراسة الجذور (الفصل التاسع) سبق ذكر بعض مظاهر التربة وطبيعتها . ومن بين العوامل التى تؤثر على توزيع النباتات ونموها وبقائها حية ودرجة حرارة التربة ومحتواها المائى ، وموادها العضوية وتركيبها الذى يؤثر على سعتها الهوائية والمائية ، ومركباتها من الاملاح المعدنية ودرجة حموضتها .

درجة الحرارة : *Temperature*

تعتبر درجة الحرارة من العوامل التى لها مغزاها واهميتها فى نمو النبات وبخاصة تأثيرها على امتصاص الماء والاملاح المعدنية،فقد تحول درجة الحرارة المنخفضة دون استطالة الجذر وبطء معدل احتراقه ووصوله الى مناطق جديدة يتيسر فيها الماء والاملاح المعدنية . وبانخفاض درجة الحرارة ينخفض معدل امتصاص الماء والاملاح المعدنية فى مناطق التربة التى تلامس الجذر . كذلك لاتنشط البكتريا فى تربة باردة وعليه لا تتيسر الاملاح المعدنية للجذور . وغالبا ما



شكل (15ـ8) شجرة صنوبر ذيل الثعلب Foxtail pine (Pinus balfouriana) ينمو عند اقصى ارتفاع يصلح لنمو الاشجار الخشبية . تعطل نمو الشجرة بفعل الرياح (التى تسبب جفاف النبات)، والرمال المحمولة بالرياح وبرودة التربة . كاليفورنيا .

يستعمل مزارعو المحاصيل الاسمدة النيتروجينية وهم ليسوا فى حاجة اليها، اذا كانت التربة اكثر دفئا والبكتريا اكثر نشاطا .

وانخفاض درجة حرارة كل من الهواء الجوى والتربة اذا ما صاحبه رياح قوية يسبب الى حد كبير قصر نباتات المناطق الالبينية alpine regions ومظهرها القزمى (شكل 15 ـ 8) . وقد اشير فى بداية هذا الفصل الى موت النباتات اثناء فصل الشتاء بسبب جفاف الخلايا الحية نتيجة لتكوين الثلج فى مسافاتها البينية. غير ان ارتفاع النتح نسبيا اثناء الفترة المشمسة المعتدلة التى تتعرض لها النباتات فى منتصف فصل الشتاء او اوائل الربيع. قد يؤدى ايضا الى موت النباتات اثناء فصل الشتاء. ففى الوقت الذى يعمل فيه الجو الصافى المشمس على زيادة معدل عملية النتح، تعوق التربة الباردة المتجمدة من عملية الامتصاص التى قد

تتوقف تماما . ويغلب فى المنطقة الشمالية للسهول العظيمة Great plain ، موت الانواع دائمة الخضرة متوسطة التصلب او حتى الانواع المتصلبة من النباتات المتساقطة الاوراق بسبب فصول الشتاء الجافة الباردة. ومن مظاهر هذا الضرر تلون الاوراق الخضراء للنباتات دائمة الخضرة باللون البنى وجفافها، ويظهر هذا الضرر بشدة خصوصا فى الاشجار ذات الجذور الضحلة او التى تنمو فى مواضع مكشوفة. ولتقليل اضرار الجفاف الناشئ عن فصل الشتاء ينصح برى النباتات دائمة الخضرة بسخاء اثناء فصل الخريف ذى الجو الجاف .

تفاعل التربة : *Soil reaction*

سبق شرح العلاقة بين نمو النبات من جهة وبين حموضة التربة ومكوناتها الجيرية من جهة اخرى (الفصل التاسع) . وتجود زراعة عديد من النباتات البرية المنزرعة فى الاراضى التى يتسع مدى اختلافها فى الرقم الهيدروجينى كما توجد نباتات اخرى ينحصر نموها (أو على الاقل يحسن نموها) فى الارض القلوية. وغالبا ما تختلف النباتات كثيرا فى مثل هذه الاوساط. ومن بين النباتات التى تعتبر حساسة بدرجة خاصة وتتأثر بالحموضة والقلوية . بعض انواع السراخس وكثير من الاراكيد ومعظم النباتات البقولية والخلجية heaths . وقد تذكر الشجيرات والاعشاب التى تكون قبال المستنقعات كمثال لأقصى ما تتحمله النباتات اثناء نموها من انخفاض فى الرقم الهيدروجينى (شكل 15 ـ 20) . وينحصر نمو معظم النباتات المفترسة Carnivorous plants ايضا فى البيئات الحامضية . وتحتوى الاراضى التى تتميز برقم هيدروجينى منخفض على كميات كبيرة نسبيا من الحديد المذاب. ويعتبر هذا احد العوامل التى تفسر نمو بعض الخلنجات مثل العنبية blueberries ، والغار الجبلى mountain laurel ، والازليا azalea ، وازهارها فى مثل هذه الاراضى لأنها تحتاج فى نموها الى قدر قليل من الكالسيوم، كما وانها ليست قادرة على امتصاص الحديد ولا استغلاله بدرجة كافية . وقد يلاحظ ملاك المنازل موت او اصفرار نبات الغار الوردى rhododendron ، التى تنمو حول آجر المنازل واحجارها حيث يتراكم الملاط الذى يحتوى على الجير . ومن الضرورى لزراعة احد انواع العائلة الخلنجية ان يضاف الى التربة بعض المواد الحامضية مثل الدبال او الاوراق المتعفنة لأشجار البلوط او الصنوبر ، أو سلفات الامونيوم او كبريتات الحديدوز .

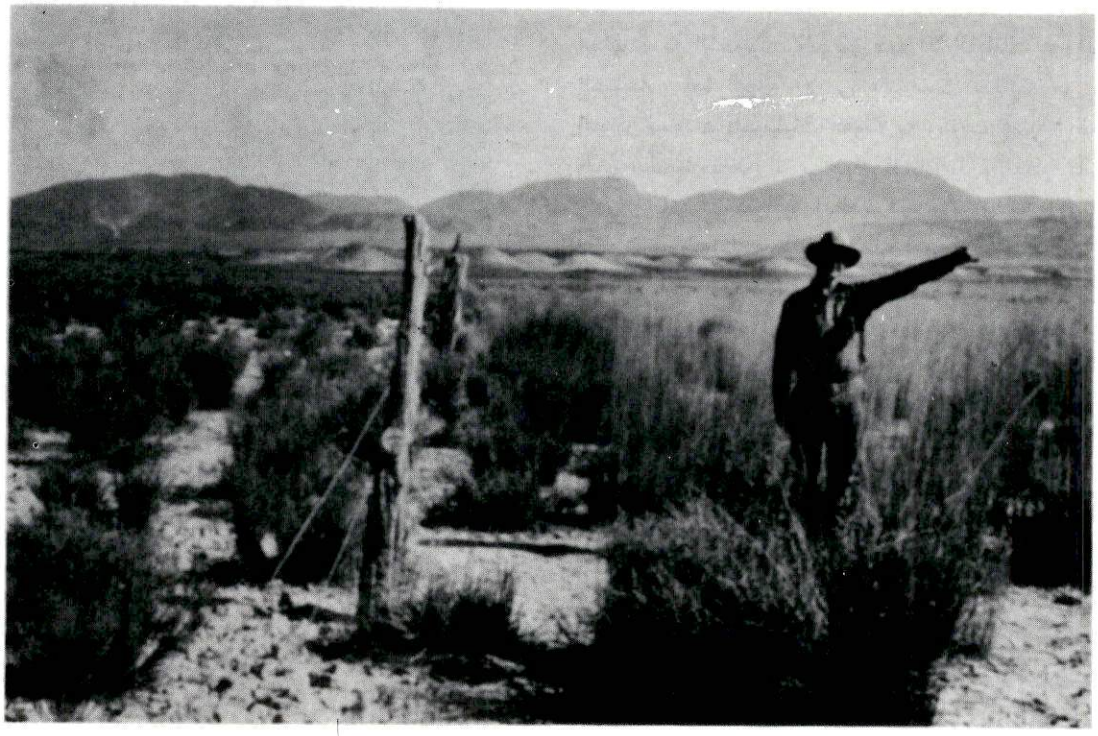
العوامل الاحيائية : Biotic Factors

لابد ان تشمل أى دراسة للعوامل التى تؤثر على نبات معين دراسة ومراعاة الكائنات الحية الاخرى، سواء منها النباتات الخضراء، او غير الخضراء وكل الحيوانات ومنها الانسان فنشاط اى منها يحدث عدة تغيرات فى الوسط وهذه بدورها تؤثر بشدة على نمو النباتات وتركيبها وتكاثرها وكذلك توزيعها . واهم هذه التغيرات البيئية هى التى تنشأ من تنافس النباتات وتداخلها ببعضها .

التنافس : *Competition*

لا يتأثر نمو الافراد النباتية الا بعوامل البيئة كالمناخ والتربة طالما كانت هذه الافراد معزولة وبعيدة عن بعضها اما اذا نمت النباتات فى مجاميع او طوائف فانها تتنافس مع بعضها فى كل اطوار نموها من طور البادرة حتى مرحلة النضج وتتنافس النباتات فيما بينها على الماء والضوء وعناصر التربة الاساسية فاذا نمت النباتات متقاربة فان جذورها تحتل المناطق التى يحصل منها غيرها ما يلزمها من ماء واملاح معدنية . وفضلا عن ذلك فان الاوراق الخضراء لاحد النباتات تظلل غيرها ، ونتيجة لهذا التنافس تسود النباتات الاكثر عنفا فى نموها والافضل فى ملاءمتها . اما غيرها الاقل عنفا فى نموها فانها تكبت أو تستبعد . وتحرك الافراد النباتية او الانواع واحتلالها لمناطق سبق إقامة نباتات بها يرتبط بمقدرة النباتات الغازية وتنافسها بنجاح مع الانواع والافراد المقيمة على العوامل الاساسية للنمو .

وطبيعة الاحتياجات التى تتنافس عليها النباتات تختلف باختلاف البيئات وربما يعتبر الضوء فى الغابات اهم هذه الاحتياجات اما فى المراعى والصحارى والاراضى المنزرعة، فان نباتاتها تتنافس اصلا على الماء ، والاملاح المعدنية



شكل (15ـ9) تسبب تكثيف الرعى بأن نمت بشدة أنواع الحشائش غير المستساغة من قبل الحيوانات فى احد مراعى نيفادا . ويظهر فى الركن الايمن من خلفية الصورة مرعى آخر نظم فيه الرعى فتواجدت فيه الحشائش المستساغة من قبل الحيوانات . الشيلم (Elymus) ryegrass

والتنافس عملية حيوية يحسن الاهتمام بها لارتباطها بانتاج الغذاء فمعظم النباتات المنزرعة ليس لها قدرة على التنافس اذا ما تركت وشأنها والى حد كبير يتحكم الانسان فى النباتات المنزرعة فبعملية إبادة الحشائش مثلا، يمكن التخلص من التنافس بينها وبين النباتات المنزرعة على الاملاح المعدنية والماء والضوء . والمسافات المناسبة بين افراد النوع الواحد عند زراعتها ، يمكن التحكم فى التنافس بينها وبالتالى الحصول على محصول اوفر . فاذا ما زرعت بذور عديدة فى مساحة محـــدودة هبـط المحصــول نتيجة للتنـــافس على المـــاء والاملاح المعدنية التى لا تفى بحاجتها كلها . ومن جهة أخرى فإن الزراعة الخفيفة بقصد الاقلال من التنافس ، لا تكون بالضرورة مربحة ، لان المحصول قد يهبط دون حده الاقصى ، لان العناصر الغذائية والماء والضوء المتاحة لها لم تستغل استغلالا كاملا ، فالتنافس ملزم ومسموح به إلى الحد الذى يستغل فيه كل إمكانيات البيئة . ففى الماضى كان الفلاحون يزرعون 7000 نبات من الذرة فى الهكتار والآن يمكنهم زراعة 20.000 أو أكثر مع التسميد الجيد . وربما مع الرى أيضا .

ويؤثر رعى الحيوانات على تنافس النباتات ، وهذا التأثير له أهميته البيئية والاقتصادية . فرعى قطعان الماشية والاغنام على أنواع الكلا السائغة من بقوليات ونجيليات يضعف من منافستها للانواع غير السائغة ، فتسود الأنواع الاخيرة وتنتشر على حساب الأولى . ويبلغ هذا الانتشار مرحلة الخطر ، إذا تم رعى الكلا السائغ بشدة نتيجة لوضع عدد كبير من قطعان الحيوانات فى منطقة محدودة من مناطق المراعى الجافة . ويبين الشكل (15 ـ 9) أحد هذه المراعى ، وقد بلغ الرعى فى الجزء الايسر منها حدا كبيرا

اختفت منه النجيليات ولم يبق فيه الا النباتات غير السائغة الخشنة . أما الجزء الأيمن فقد تمت حمايته من الرعى الجائر فسادت النجيليات القيمة به وكونت غطاءه النباتى ، ولكى تحتفظ مناطق الرعى بهذه الحالة يلزم العناية بالرعى .

والغابات الاستوائية المطيرة هى من أوضح الأمثلة على تأثير الضوء وتنافس النبات عليه . ففى هذه المناطق تنتظم درجات الحرارة على مدار العام ويستطيل موسم النمو ويسقط 80 بوصة أو أكثر من الامطار موزعة بالتساوى طوال العام . فنمو النباتات فى هذه المنطقة وازدهارها يفوق غيره فى المناطق الاخرى على سطح الكرة الارضية (شكل 15 ـ 10) . ففى مثل هذه الاوساط التى تتحرر فيها هذه النباتات الى حد كبير من التنافس فيما بينها على الماء ، يصبح الضوء وتعرضها له بدرجة كافية هو العنصر الاساسى فى نموها وبقاؤها على قيد الحياة .

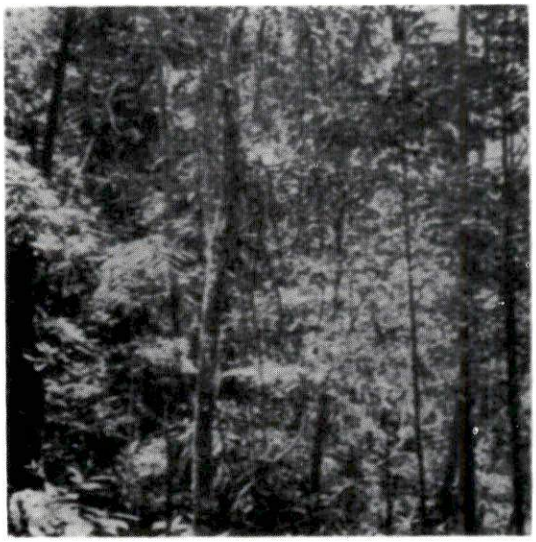
وتعتبر كل من النباتات المتسلقة climbers والمعلقة epiphytes من أوضح وأبرز الأمثلة على ملاءمة هذه النباتات وعلاقتها الوثيقة بشدة الاضاءة . فالنباتات المتسلقة إما عشبية أو خشبية . ويطلق عادة على المتسلقات الخشبية اسم المتسلقات العملاقة liana . ويختلف قطر السيقان فى هذه النباتات المعمرة ما بين ربع بوصة إلى أكثر من قدم . وقد يطلق هذا الاسم أيضا على عدد من النباتات التى تنمو فى المناطق المعتدلة مثل الكليماتس clematis والعنب grape وحبل المساكين ivy ومرضع العسل honeysuckle ، ولكن هذه النباتات غالبا ما تكون صغيرة إذا ما قورنت بالمتسلقات العملاقة التى تنمو فى الغابات الاستوائية المطيرة . ففى هذه الغابات تتعمق جذور هذه المتسلقات فى التربة وتدعمها الاشجار التى حولها فتعلو فى نموها حتى تصل أوراقها الى كنة الغابة وكثيرا ما يصل ارتفاعها الى 200 قدم من سطح التربة (شكل 15 ـ 11) . وفى هذا الموضع تتعرض أوراق هذه النباتات الى ضوء الشمس تماما .

اما النباتات المعلقة فهى نباتات هوائية . تنمو على غيرها من النباتات كالاشجار عادة . وهى ليست متطفلة بل تصنع غذاءها بنفسها . فتسلقها ومساندة النباتات الاخرى لها يضعها فى مكان أنسب بالنسبة للضوء . وقد تحيا كثير من النباتات حياة معلقة . ومن بين هذه النباتات السراخس



شكل (15ـ10) حافة غابة من منطقة غزيرة بالامطار فى غواتيمالا . النبات ذو الاوراق الكبيرة فى مقدمة الصورة من ذوات الفلقة الواحدة زانثوسوما (Xanthosoma roseum)، وهو من عائلة Jack - in - the - pulpit (Arsaema) الذى موطنه احراش شمال امريكا .

شكل (15ـ11) نبات من المتسلقات Lianas فى احدى غابات جامايكا المطرة .



والاشن والحزازيات والاراكيد وأنواع من النباتات القلقاسية arum وعائلة نبات الكاكتوس cactus وعائلة نبات الاناناس (شكل 15 ـ 12) ونبات الحزاز الاسبانى Spanish Moss ويتبع عائلة الاناناس وهو من النباتات المعلقة التى لا تنمو على الاشجار فقط بل تنمو أيضا على أعمدة الهاتف وغيرها من الاجسام . فهذا النبات (شكل 15 ـ 13) ، الذى يوجد فى جنوبى الولايات المتحدة والجزء الاوسط من امريكا الجنوبية يمتص ماء المطر بالحراشف الدقيقة التى تغطى أوراقه وسيقانه الرقيقة التى تستطيل بدرجة كبيرة . وهذه الحراشف هى التى تكسب هذا النبات لونا رماديا ومظهرا مميزا . ويحصل هذا النبات على عناصره الغذائية الاساسية من ماء المطر والغبار . وكثير من النباتات المعلقة تحصل على عناصرها الغذائية من المواد العضوية المتحللة التى تتراكم حول جذورها .



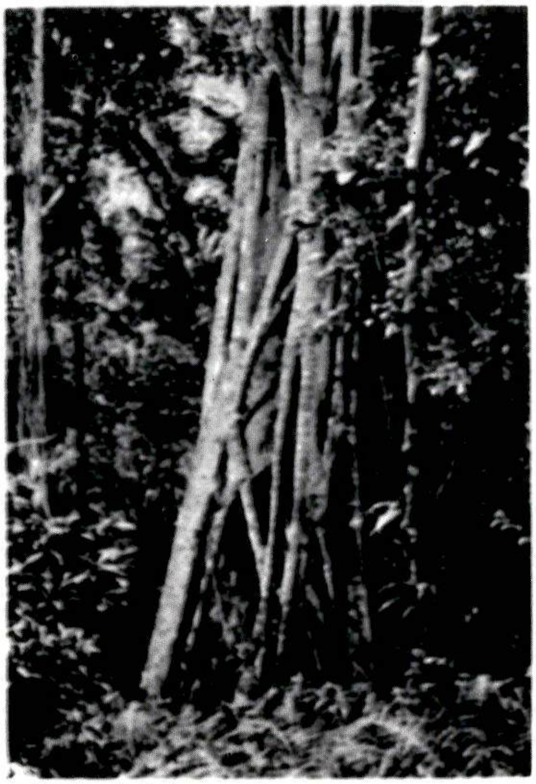
شكل (15ـ12) نباتات متعايشة Epiphytes (تعيش على نباتات اخرى ولكن باستقلال غذائى) فى غابة استوائية مطيرة كالكبديات Liverworts والاشنات Lichens والسرخسيات الرقائقية Bromeliad وكذلك البرومالية (فصيلة نباتية تشمل الاناناس)

وتنمو بعض النباتات المعلقة فى المستويات السفلى للغابة ، إلا أن كثير منها يتخذ موضعا يعرض تماما لضوء الشمس وفى هذه الحالة تتعرض هذه النباتات ، حتى فى الاجواء التى يغلب فيها المطر الى فترات ينقص فيها الماء ، لذلك يحمل بعضها بعض الصفات الجفافية . ففى كثير من أنواع البرومالية bromeliads (عائلة نبات الاناناس) تتجمع قواعد الاوراق على شكل أغلفة لتكون خزانات من الماء تختزن فى النباتات الكبيرة ما يزيد عن جالون من ماء المطر .

شكل (15ـ13) اشجار السرو العارية Bald cypress (Taxodium distichum) وتظهر فى الصورة مغطاة بالحزازيات الاسبانية Spanish moss



وفى المناطق الاستوائية تبدأ بعض النباتات حياتها كنباتات متسلقة ، ثم تتحرر بعد ذلك من الاشجار التى دعمتها فى البداية . ويطلق على هذه النباتات اسم الخانقات stranglers ويتبع عديد منها عدة عوامل نباتية خصوصا عائلة نبات التين fig . وتنبت بذور هذه الخانقات التينية فى أعالى الاشجار الطويلة فى المفرق بين جذعها وأحد فروعها الكبيرة وتنمو هذه النباتات لمدة ، كما تنمو النباتات المعلقة ثم بعد ذلك ترسل جذورها الهوائية الطويلة إلى أسفل حتى تصل إلى التربة فتخترقها وتتشبث بها . وتمتد بعض هذه الجذور فى الاتجاه السفلى على امتداد جذع الشجرة ، حيث تتضخم وتتصل ببعضها لتكون فى النهاية شبكة تحدق بهذا الجذع تماما (شكل 15 ـ 14) . وبعد مدة تموت الشجرة العائل وتتحلل تاركة النبات الخانق على هيئة شجرة



شكل (15_14) التين الملتف (Strangling Fig (Ficus
فى استراليا

مستقلة مجوفة «الجذع» الذى لا يعتبر من الوجهة التشريحية ساقا بل جذرا . ويعزى موت الشجرة العائل الى تحطيم قلفها من جراء الضغط والعصر الذى يعانيه بين انسجتها الخشبية الصلبة وبين هذه الجذوع . ونتيجة لهذا الضغط يهبط معدل نمو وانتقال الذائبات فى الشجرة العائل .

التتابع النباتى Plant Succession

يؤدى تنافس نباتات المجموعة الواحدة فيما بينها إلى عدة تغيرات فى ظروفها واحوالها وهذه بالتالى تؤثر على نمو نباتاتها ، فتفاعل هذه النباتات فيما بينها يحدث عدة تغيرات فى البيئة ، سواء فى الضوء أو فيما يتاح لها من ماء وعناصر غذائية . فتظليل النباتات الطويلة لغيرها من النباتات القصيرة يحدث عدة تغيرات لا فى درجة حرارة الهواء والتربة فحسب ، بل فى الرطوبة النسبية وكذلك فى حدة الرياح . وبهذه التغيرات ترطب التربة الجافة وتصبح انسب لنمو البادرات . ومما يساعد على ذلك الدبال الذى يتراكم من تحلل الانسجة النباتية وقدرته على امتصاص الماء والاحتفاظ به لحد ما .

وإذا ما تغير الوسط تغيرت بالتالى أنماط النباتات التى تستوطن المنطقة. فتغزو هذه المنطقة أنواع جديدة من النباتات . وإذا ما كان هذا الوسط انسب لنمو هذه الأنواع الجديدة قامت ورسخت فيها وحلت محل نباتاتها الاصلية . ويمضى الوقت تتابع مجاميع نباتية مختلفة على منطقة معينة من الارض وتعرف هذه العملية بالتتابع succession .

وكلما تقدم التنافس بين النباتات اصبحت أنواع معينة منها سائدة dominant . وهذه الانواع هى التى تتحكم بدرجة كبيرة فى ظروف الوسط وعليها يتوقف نمو هذه الانواع وبسبب غزو أنواع جديدة من النباتات للمنطقة ، تظهر فى مرحلة التتابع سلسلة من الانواع السائدة التى تغير من طبيعة التنافس بين النباتات ، ويستمر ذلك إلى أن يحل طراز معين من المجاميع النباتية محل غيرها . وفى النهاية يميل الكساء الخضرى vegetaion إلى الاستقرار بمعنى أن الانواع النباتية التى تشغل المنطقة هى من أوفق الانواع من حيث تكاثرها ، كما إنها من أعظمها من حيث إمكانية نموها فى هذه الاوساط الخاصة .

وتتميز نهاية التتابع بحالة من الاستقرار تعرف بالذروة climax . وتتسم المنطقة التى بلغت الذروة بمظهر عام من الكساء الخضرى . كما تتسم بما يوجد فيها من انواع نباتية . فالانماط الاساسية للنظم البيئية الارضية التى توجد فى مناطق الغابات ، وأراضى المرعى والصحارى ، والتندرا تعتبر ذرى لهذه المناطق . وهذه الطرز من الكساء الخضرى تمثل أفضل ما يلائم الاحوال والظروف الوسطية فى كل منطقة . ونتيجة لعوامل مناخية محلية وعوامل اخرى ،

تختلف الأنواع السائدة فى هذه الذرى باختلاف المواقع ، لذلك يتكون داخل الانظمة البيئية الكبيرة التى وصلت الى حالة من الذروة ، أقسام ومجاميع فرعية من النباتات .

فالغابات الغربية فى أمريكا الشمالية مثلا تتكون من أقسام فرعية subdivisions هى الشوكران الغربى hem-lock ' western والارز الاحمر red cedar والتنوب وكذلك التنوب الفضى spruce fir والصنوبر الاصفر الغربى ' western yellow pine ' douglas ثم تنوب دوجلاس الغربى . ومن بين الاقسام الفرعية التى توجد فى الغابات الشرقية المتساقطة الاوراق (شكل 15 ـ 22) البلوط ـ الجوز الامريكى وكذلك الزان ـ القيقب . والمخروطيات المتساقطة الاوراق هى من أشهر الاقسام الفرعية التى توجد فى الغابات ذات الخشب الصلد ومنها الشوكران الشمالى Hemtock — Northern — Hardwood Forest (شكل 15 ـ 16 ـ 15 ـ21) وتتكون اراضى المراعى من عدد من الاقسام الفرعية تتميز كل منها بنوع أو أكثر من النباتات ، بينما يتميز النظام البيئى لمنطقة التندرا بوجود حزاز ـ اشن فى بعض المناطق ، كما يوجد فى مناطق أخرى منها شجيرات قزمية وفى مناطق أخرى غيرها يوجد خليط من النجيليات grasses والسعد sedges والنباتات العشبية .

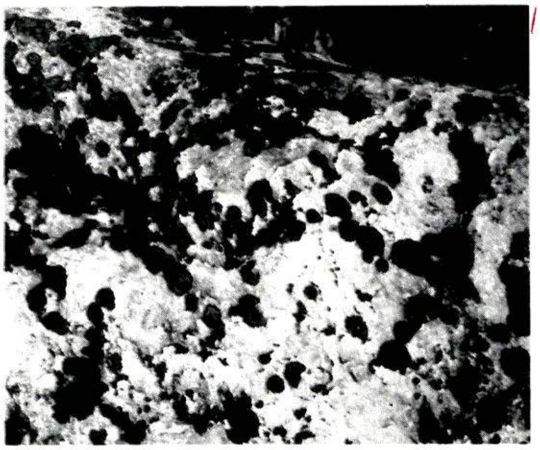
وللتتابع أنماط عديدة ولكنها كلها تتكون من عدة مراحل، تتميز كل مرحلة منهابحياة نباتية ذات أشكال مختلفة. والنباتات الأولى التى تترسخ فى أى تتابع نباتى تعرف باسم المرحلة الرائدة pioneer stage. وتحدد الى حد كبير، طبيعة التربة أو الصخر وكذلك كمية الماء المتاح، طبيعة النباتات الرائدة. وبعض أنماط التتابع، يطلق عليه التتابع الابتدائى primary، يبدأ فى مناطق لم تحتلها النباتات من قبل مثل المياه المكشوفة والصخور الجرداء والرمال. اما التتابع الثانوى secondary فيبدأ فى الاماكن التى تم فيها ابادة الكساء الاخضر الذى كان موجودا بها دون تجريدها من طبقة التربة السطحية او تغطيتها بسطح يتم به تكوين هذه الطبقة من جديد. ويتكون التتابع الثانوى عادة بعد حريق الغابات وقطع الاشجار والرعى الشديد، وكذلك فى الاراضى الزراعية المهملة. وتختلف أنماط التتابع كثيرا، ولن نذكر هنا إلا بعضها وذلك لتوضيح المبدأ العام فقط. وأول طراز من طرز هذا التتابع هو التتابع الابتدائى الذى يبدأ على الصخور الجرداء.

التتابع الابتدائى: Primary Succession

تنمو الاشنات عادة كمرحلة رائدة وبها يبدأ التتابع على سطح الصخور التى تتفتت بفعل عوامل التعرية مثل الجليد والرياح والماء (شكل 15ـ15) ولاتنمو هذه النباتات الا إذا كان الماء ميسرا لها، ولكنها تستمر فى بقائها على قيد الحياة فى الفترات التى بين سقوط الامطار بالرغم من جفافها. وبعملية ميكانيكية تفتت الاشنات دقائق الصخر التى تحتها، وتكون هذه الدقائق بالاضافة الى الاشنات المتحللة الطبقة الاولى الرقيقة من طبقات التربة. وتعقب هذه الاشنات البسيطة التى على شكل صخر crustilke أشنات اخرى ورقية Leafy Forms وأكبر منها وهى تنمو على ماقد يتراكم على الصخر من تربة ودبال.

وبعد الأشنات تأتى النباتات الحزازية، وهى مثل الاشنات قادرة على الحياة طوال فترات الجفاف. وتظلل الحزازيات الأشنات وتتنافس معها لتحصل على الماء

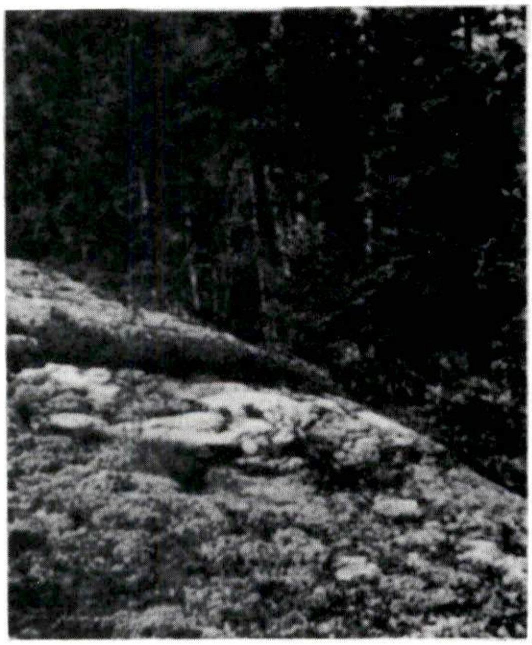
شكل (15ـ15) اشنات رائدة (Gyrophora Parmelia) Pioneer lichens تعلو صخرة عالية .



والعناصر الغذائية. وبموت اقدم الحزازيات وبتحللها تتكون غالبا طبقة كالحصير على سطح الصخر. وبمضى الوقت وبزيادة سمك هذه الطبقة التى تستحوذ على الماء بقوة استمساك Water – holding capacity كبيرة ينشأ الطور الثالث من أطوار التتابع. ويتكون هذا الطور من أعشاب حولية ومعمرة قد تشتمل على نجيليات وأحيانا سراخس. وبزيادة سمك التربة نتيجة لتحلل الصخر وتعفن جذور وسيقان وأوراق النباتات، يتيسر مزيد من العناصر الغذائية، ويظهر الطور الرابع من أطوار التتابع، وتصبح الشجيرات هى النباتات السائدة اما النباتات العشبية التى ظهرت فى الطور السابق فانها تتوارى تدريجيا عن الانظار وذلك نتيجة لتظليلها.

وهذه الشجيرات تزيد بدورها من خصوبة التربة. وقد تتهيأ الظروف بعد عدة سنوات لتكوين الطور الشجرى فى سلسلة التتابع هذه. وبهذا الطور تبلغ الغابة ذروتها فى المناخ الذى يسودها. وطبيعى الا تنمو فى البداية الانواع الذروية من الاشجار بل يظهر بدلا منها أنواع تلائم الظروف الجافة نسبيا. وبتحسن هذه الظروف تحل تدريجيا طرز من الانواع النباتية الوسطية محل الأنواع السابقة التى تلائم الجفاف وقد تسود الانواع الوسطية لأن بادرتها تتحمل التظليل اذا قورنت ببادرات الاشجار الغازية الاولى التى لاتتحمله.

وتتكاثر أنواع الذروة من تلقاء نفسها فتحل أفراد جديدة محل غيرها التى ماتت. وتستمر الذروة على حالها إلا اذا تغير الطقس أو حدث اضطراب فى المجموعة النباتية نتيجة للحريق أو بفعل الانسان أو بأى وسيلة اخرى وقد تتخذ سلسلة التتابع على الصخور الجرداء طريقا آخر غير الطريق السابق الذى سلكته فاذا تجمعت كمية من التربة فى الشقوق او اذا ترسب الرمل أو الحصى على السطح الصخرى فإن الاعشاب والشجيرات أو حتى الاشجار تتعجل فى الظهور والاستيطان. فتضعف غيرها من الاطوار الاولى فى سلسلة التتابع (شكل 15ـ16) وفضلا عن ذلك فان كثيرا من الطبقات السطحية الصخرية لازالت بعد مئات او حتى الاف السنين مغطاة بالاشنات التى تكّون ذروتها. ويعتبر الجفاف الذى يحدث على فترات من بين العوامل التى تمنع استيطان الطرز الاخرى من المجاميع النباتية.



شكل (15ـ16) التعاقب على صخرة عالية : الاشنات lichens فالحزازيات mosses فالنجيليات grasses ثم الشجيرات الصغيرة small shrubs ، ترسخت النباتات الخشبية الصغيرة فى شقوق الصخرة .

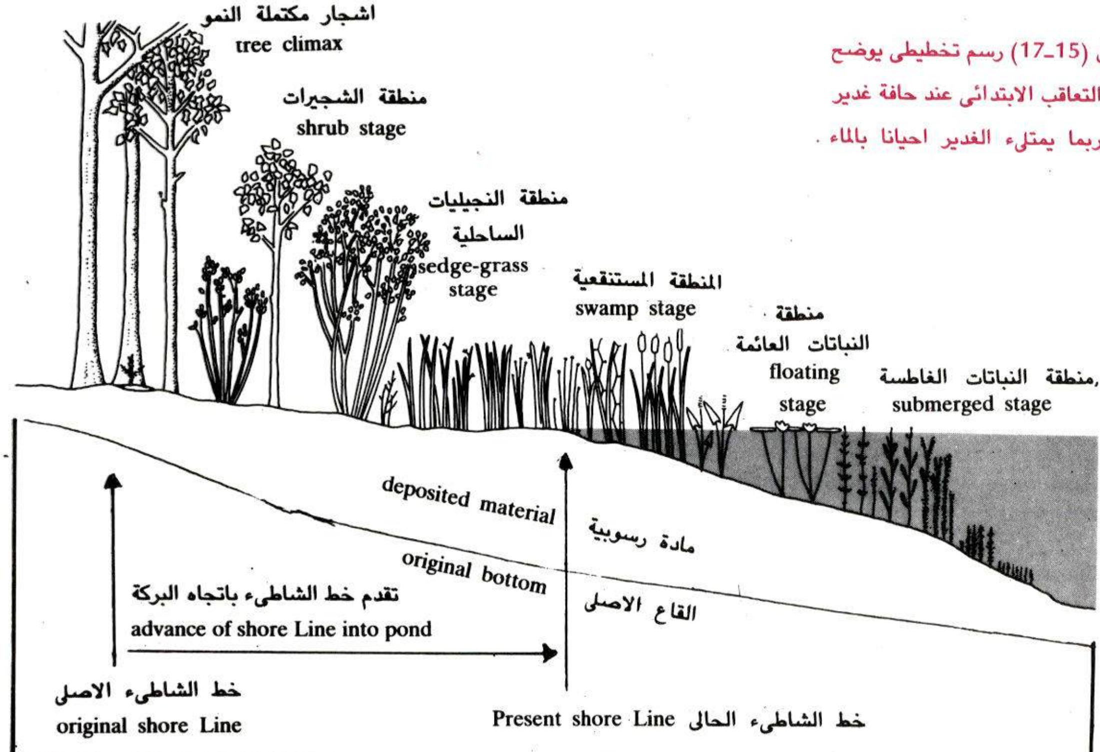
ويلاحظ أنه فى سلسلة التتابع التى ذكرت آنفا حلول الطرز الوسطية محل الطرز الجفافية وهذا مايحدث عادة فى المناطق التى يسقط فيها المطر بكميات كافية اذا بدأت سلسلة التتابع الابتدائية فى أماكن خالية من التربة. ومثال آخر لمثل هذه السلسلة من التتابع مايوجد فى الكثبان الرملية، حيث تعتبر النجيليات المقاومة للجفاف هى الرائدة عادة، ثم يعقب ذلك الشجيرات والاشجار. وقد لاتؤدى سلسلة التتابع الابتدائية على اليابسة الى ذروة الغابة، بل الى تكوين أراضى المراعى، ويدل على ذلك ماحدث فى مناطق المراعى لامريكا الشمالية ومناطق اخرى كثيرة على سطح الكرة الارضية. وقد أمكن التعرف فى الجزء الاوسط من امريكا الشمالية على ثلاث مناطق للمراعى وهى: (1) البرارى ذات النجيليات الطويلة tall – grass prairie، (2) البرارى المختلطة، (3) البرارى ذات النجيليات القصيرة short – grass prairie (شكل 15ـ24).

ويحدث التتابع الابتدائى ايضا فى وسط مائى مكشوف كالبرك والبحيرات (شكل 15ـ17) وتتكون الخطوة الاولى من نباتات مائية مغمورة، يرتفع بها قاع البحيرة بعد موتها وتحللها وتراكم الرواسب الغرينية عليها. وتنمو مثل هذه النباتات بغزارة فى المياه الضحلة، لذلك فان تراكم المواد العضوية والعناصر الغذائية يكون أقرب الى السطح من المياه العميقة. وبارتفاع القاع يأتى دور الطور الثانى من التتابع ويتكون من النباتات الطافية ويتميز بزنابق الماء water lilies ولسان البحر pondweed ذى الاوراق العريضة وغيرها من النباتات. وتتشبث جذور هذه النباتات ببطن البحيرة وتطفو اوراقها على السطح وتظلل ماتحتها من النباتات وينشأ المستنقع نتيجة لنقص عمق المياه فى البحيرة، ثم تغزو المنطقة النباتات المائية البارزة مثل انواع البردى وقصب الماء bulrushes وسنان السهم arrowheads وقصب البر burreeds، وفى النهاية تجف التربة بالدرجة التى تصبح بها موطىء قدم للانواع الارضية مثل السعد sedges وغيره من النباتات العشبية القصيرة. وتتعرض هذه النباتات بظل مايأتى بعدها من نباتات اخرى، ثم يلى ذلك ذروة الاشجار او البرارى. وفى اراضى المراعى تحل برارى الارض المنخفضة محل الطور الشجيرى، ثم يعقب ذلك برارى الاراضى المرتفعة او البرارى المختلطة او البرارى ذات النجيليات القصيرة.

التتابع الثانوى: Secondary Succession

ينتج هذا التتابع من نشاط الانسان وهو الطراز الاكثر شيوعا فى المناطق المستقرة. ويختلف التتابع الثانوى عن التتابع الابتدائي فى أن الاطوار فى الطراز الاول اقل، كما انه يصل الى ذروته أسرع من الطراز الثانى. وتختلف الاطوار التى تعقب إزالة الكساء الخضرى الاصلى اختلافا كبيرا باختلاف المناطق ويتوقف ذلك على المناخ والتربة وطرز

شكل (15ـ17) رسم تخطيطى يوضح التعاقب الابتدائى عند حافة غدير ربما يمتلىء الغدير احيانا بالماء.



النباتات التى تغزو المنطقة المعراة. ، وتستعمر النجيليات وغيرها من الاعشاب سواء أكانت حولية او معمرة الاراضى التى احترقت او ازيلت منها الاشجار. ويعقب ذلك الشجيرات مثل السماق Sumac، ثم اشجار الدغل weed trees ومثل البيلسان box elder، والحور الرجراج aspen، والكرز الخرشوق choke – cherry والكرز المسمارى pin cherry وكلها لها بذور يسهل انتثارها. واذا ترك الانسان هذه المناطق وشأنها فانها تستعيد حالتها الاولى فتغطى بعد فترة من الزمن بغابات مخروطية شبيهة بالذروة الاصلية.

وفى الاراضى الزراعية المهجورة يسير التتابع سيرا حثيثا نحو تغطية هذه الاراضى بالحشائش الحولية العشبية، يليها الحشائش المعمرة والنجيليات ثم البرارى او اراضى الغابات. وفيما يلى مثال نموذجى لتتابع أظهرته الدراسات التى اجريت على منطقة مرتفعة بشمال كرولينا بها مزارع متروكة. وتشير المراكز الموزعة من الاشجار الصلبة hardwood والتى تشتمل على اشجار عمرها 200_300 عام الى أن اشجار البلوط والجوز الامريكى hickory هى الاشجار السائدة فى هذه الغابات قبل حلول الرجل الابيض.وتتابع بسرعة الاطوار الاولى فى سلسلة التتابع الثانوى فبعد عام من ترك هذه الحقول وشأنها كان أبرز مافيها هى الحوليات من نبات الحشائش البرية crabgrass وحشيشة الحصان horseweed وفى العام الثانى كانت الانواع السائدة هى نبات رعرع ايوب ragweed الشائع والنبات النجمى aster الطويل الكث ذو الازهار البيضاء. وفى العام الثالث يكون نبات سعد المكانس broom – sedge ادغالا كثيفة تظلل اطرافها العليا مابجوارها من النباتات وتمتد جذورها الليفية لتنافس جذور النباتات الصغيرة على الماء والاملاح المعدنية ويعقب طور السعد الصنوبريات pines، التى تستقر جذورها بين دغل النجيليات.وخلال 10_15 عاما تظلل الصنوبريات. النباتات النجيلية وتسود لمدة 70 _ 80 عاماً . ومع ذلك لا تتكاثر هذه النباتات فى ظلالها لذلك تحل محلها بالتدريج أشجار البلوط والجوز الامريكى التى تتكون فى الطبقات السفلى من الغابة . وبعد حوالى 150 _ 200 عام تعود غابات الجوز الامريكى والبلوط إلى ذروتها من جديد مع بقاء بعض الصنوبريات موزعة هنا وهناك ، وقد تخلفت من الطور السابق فى سلسلة التتابع . ويحدث مثل هذا التتابع فى أراضى المراعى الغربية التى زرعت مدة ثم أهملت . ففى البداية تغزو النجيليات هذه الحقول ، يليها الأعشاب العشبية ذات الأوراق العريضة سواء اكانت حولية أو معمرة . ثم يحل محلها ببطء النجيليات الذروية إلا إذا أعاق الرعى الشديد هذه المناطق من استردادها لحالتها الأولى .

وهناك طرز أخرى من النباتات تكون الطور الرائد فى كل من التتابع الابتدائى والثانوى . وهذه النباتات هى الطحالب التى تقطن التربة ، ومنها على وجه الخصوص الطحالب الخضراء والطحالب الخضراء المزرقة . وتعيش هذه الطحالب على سطح التربة ، أو تحتها مباشرة . وقد تكون هذه الطحالب أغلفة تعمل على استقرار التربة ، كما تعمل على تثبيت النيتروجين وتضيف إليها كميات صغيرة من المواد العضوية ، كما تسمح أيضا بانبات بذور وسبورات spores النباتات الراقية . وفى الظروف الطبيعية والكيميائية الملائمة تستعمر هذه الطحالب سطوح الصخور والأراضى التى تعرت بشدة ، وكذلك التربة التى تعرت بفعل الجفاف .

والتتابع الثانوى هو من الشيوع بحيث إن سكان المدن لا يلزمهم مغادرة أماكنهم لدراسته فيمكن ملاحظة هذا التتابع فى قطعة صغيرة من أرض خالية ، أو على جوانب الطرق أو فى فرجة قاحلة فى فرجة خضراء .

ومعرفة الأسس التى تبنى عليها ظاهرة التتابع لها قيمتها القصوى فى ادارة شئون الغابات والمراعى والأراضى الزراعية ومناطق الحياة البرية . فالمناظر الطبيعية الخلوية هى فى تغير مستمر . وفى الامكان ملاحظة كثير من هذه التغيرات فى الفترة التى يحياها الانسان ، أما غيرها من التغيرات فهى من البطء بحيث يندر أن يلاحظها اولئك الذين يحيون حياتهم كلها فى نفس المنطقة . وعلى ذلك فالكساء الخضرى كما نراه اليوم ليس مجرد أنواع نباتية تغطى اليابسة بطريق الصدفة بل انه يمثل عملية منظمة لتوطين النباتات محكومة بتبادل الفعل بين النباتات ومتغيرات البيئة .

عوامل احيائية اخرى Other Biotic Factors تركز معظم الشرح السابق على النباتات الراقية كعوامل احيائية . بيد ان للنباتات الدنيا أثرها أيضا على نمو النباتات . ففطريات التربة

مثلا لها دورها الهام . فتوجد الفطريات فى معظم الأراضى بوجه عـام ، وفى عدة بيئـات تعتبر ضروريـة لنمو نبـاتات الصنـوبر والزان وغيرها من الأشجار . كما توجد علاقـات اخرى فـريدة ومفيدة بين النباتات .

وبالرغم من أن النباتات لها دورها الهام كعوامل احيائيـة إلا أن دور الانسـان والحيوانـات يتسـاوى معهـا أو يفـوقهـا أهمية ، كعامل يؤثر على نمو النباتات وتكاثرها وتوزيعهـا . وقد سبقت الاشارة إلى بعض الآثار التى تترتب على نشاط الانسان مثل قطع الأشجـار والحريق ورعى الحيـوانات المستـأنسة ورعى المـواشى والخيل والاغنـام والماعـز الذى لا ضـابط له يتدخل فى تكاثر الغابة ويتلف الغطـاء الأصلى لأراضى المـراعى (شكـل 15 ـ 9) . وعليـه فـإنـه يؤدى إلى نضـوب التـربـة وتفتتهـا . وتستعمل القـوارض البذور كغـذاء لها ، وعـلى ذلك فإنها تقلل من قدرة النباتات على التكاثر ، كذلـك تستهلك هـذه القوارض الأوراق والسيقان الأرضية وتضر بالاجزاء الأرضية بسبب حفـرها لانفـاقها . وفى بعض مـواقـع محليـة ، تعتبـر القوارض من العوامل الهامة التى تسبب نضوب المراعى .

ومن بين التأثيرات المفيدة للحيوانات دورها فى انتشار البذور والثمار ، ودور الحشرات فى التلقيح ومساهمة ديدان الأرض فى زيادة التهوية ، وامتصاص الماء وتسميد التـربة . كمـا يمكن ذكر أمثلة عديدة غيرها للحيوانات كعوامل احيائية .

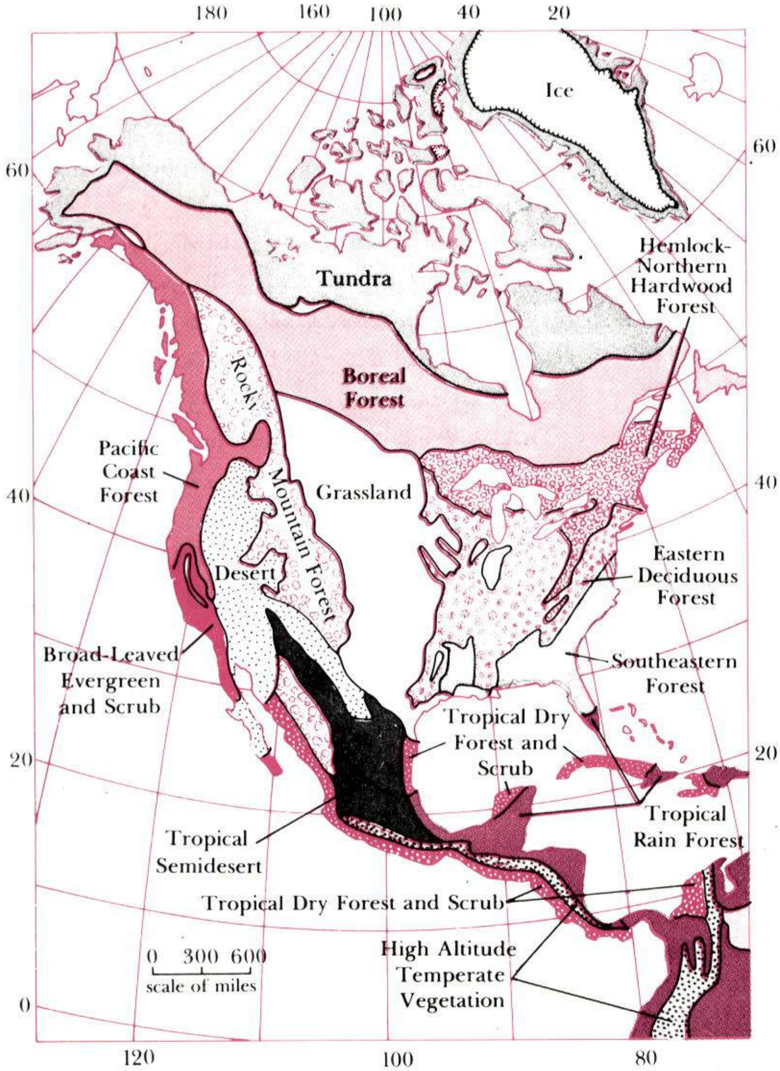
النظم البيئيـة الارضية الـرئيسيـة Major Terrestrial Ecosystems

إن اختلاف أنماط الكساء على المناطق الجغرافية الواسعة لسطح الكرة الأرضية تقع تبعته على العوامل المناخية والبيئيـة الأخرى التى ذكرت فى هذا الفصل . فاختلاف هـذه المناطق فى درجـة الحرارة والـرطوبـة وما تسببـه من تحورات فى التـربة والعوامل الاحيائية قـد أدى إلى تكوين طـرز من النظم البيئية الأساسية . وغالبا ما توصف هـذه النظم على أسـاس الطراز المميـز للكساء الخضرى ، وقـد يتكرر نفس الطـراز فى القارات المختلفة تحت ظروف بيئة مماثلة .

وفيما يلى أهم أنماط الغطاء النباتى فى أمريكـا الشماليـة : (1) التندرا ، (2) الغابـات الصنوبـرية ، (3) الغـابات المتسـاقطة الأوراق للمنـاطق المعتدلـة ، (4) الغـابـات ذات الأوراق ـ العـريضة للمنـاطق الاستوائيـة ، (5) الاكمـات (ادغال كثيفة من الشجـيرات والأشجار الصغـيرة) . (6) أراضى المراعى ، وأخيرا (7) الصحارى . وعلى وجه التقريب تبلغ كمية الأمطار التى تسقط على الصحارى 125 ـ 250 مم فى العام ، وعلى أراضى المراعى 250 ـ 750 مم ، وعلى منـاطق الغابات 750 ـ 2250 مم . ويبين الشكل (15 ـ 18) ، طرز الكساء الخضرى وحدودها العامـة فى امريكـا الشماليـة . وفى الفقرات القادمـة وصف موجـز لمكونـات معظم هذه الطـرز فى مناطقها .

التندرا : Tundra تمتد هـذه المنطقة من الحـدود الشماليـة للغابات إلى حدود الجليد الدائم . وتهبط درجة حـرارة التربـة والهواء وتسود الرياح القوية الجافة ، ويقصر فصـل النمو إذ يتراوح بين عدة أسابيع إلى شهرين . ويطـول النهار فى فصـل الصيف ، أمـا قوة الاضـاءة فهى ضعيفة بسبب ميـل أشعـة الشمس والضبـاب والسحب ورذاذ المطـر . ونتيجـة لهـذه الظروف البيئية غير المناسبة ، تخلو المنطقة غالبـا من الأشجار (15 ـ 19) . وغـالبـا مـا يتكـون الكسـاء الخضرى من الحـزازيـات والأشنـات والنجيليـات والسعـد والشجـيرات القزمية . وقد تسود مثل هذه الأحوال فى المرتفعات العالية مثل قمم الجبال فوق خط الاخشـاب timberline . والمظهر العـام لهذه المناطق المحليـة يشبه إلى حـد كبير مثيلـه فى تندرا القطب الشمالى التى تمتد آلاف الأميـال المربعـة عبر الجـزء الشمالى وتعمـل هذه الطبقـة الرفيعـة من الكساء الخضرى فى التنـدرا كطبقة عازلة . فإذا تحطمت هذه الطبقة بفعل الانسان مثـلا ، فـإن طبقة تحت التـربة التى تجمـدت بصفة دائمـة ، تبدأ فى الذوبان ويتبع ذلك غالبا تفتيت التربة بـدرجة كبـيرة . ومازال كثـير من منـاطق التنـدرا تحمـل آثـار السيـارات الكبـيرة (البـولـدوزر) وغـيرهـا من الآلات الثقيلـة التى استعملت فى الماضى دون مبالاة .

الغابات Forest تـوجد غـابات امـريكا الشمـالية فى ثـلاثة أحزمة كبيرة هى الغابات القطبية والغابات الشرقيـة والغابـات الغربية .



شكل (15ـ18) خريطة التوزيع النباتى فى امريكا الشمالية .

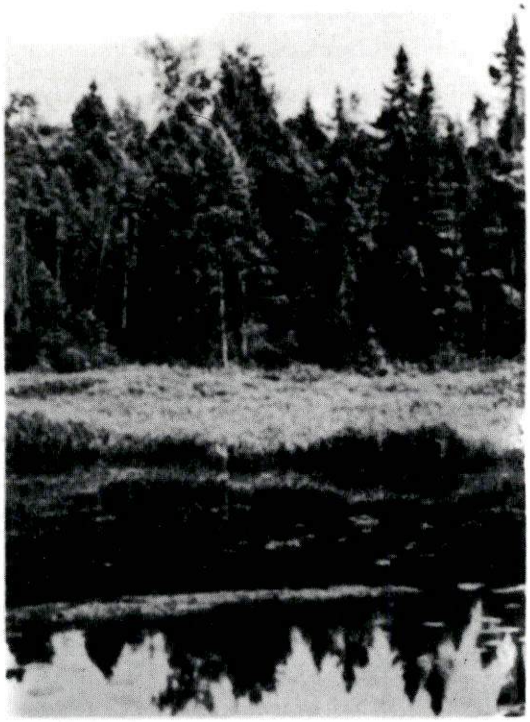
الغابات القطبية : ***Boreal forest*** توجد هذه الغابات فى أقصى الشمال (شكل 15 ـ 20) وتمتد عبر القارة ، وتعتبر أساسا من الغابات الصنوبرية . وأهم أشجارها التنوب الفضى والتنوب ، ولكن يوجد أيضا الصنوبر pine والارز cedar واللاركس larch ويوجد بها أيضا الأشجار الصلبة أو الأشجار ذات الأوراق العريضة ممثلة فى الحور الرجراج aspens والقان birch . والمناخ فى هذه المنطقة قاس ولكن طول فصل النموّ كاف لنمو الاشجار . وتنمو الغابات القطبية غالبا على تربة رفيعة والأرض متجمدة مرصعة هنا وهناك بالبحيرات والبرك والمستنقعات . والتتابع النباتى هو صفة مميزة فى هذه البرك والمستنقعات (شكل 15 ـ 20) . وحزازيات الاسفاجنم sphagnum mosses تملأ تدريجيا هذه البرك وتحولها إلى مستنقعات دبالية peat bogs حيث تنمو النباتات السعدية sedges والخلنجيات heaths فى الأراضى

الحـامضية . واخيـراً يأتى دور التنـوب الفضى والـلاركس فى سلسلة التتابع .

الغابات الشرقية : ***Eastern forest*** تمتد هذه الغابـات من الشـاطى الشرقى عبر المسيسبى حتى حـدود البرارى لأراضى المـراعى . وهذه الغـابات تنصف بـدورها إلى غـابـات الجـوز الامـريكى hemlock الشمـاليـة ذات الخشـب الصلـب ، والغابات الشرقية متساقطـة الأوراق ، والغابـات الجنوبيـة . وتعتبر هذه الغابات من أغنى الغـابات فى المنطقـة المعتدلـة من حيث عـدد أنواع الأشجـار (600 نوع تقـريبـاً) . وتشمـل غابات الجوز الامريكى الشمالية ذات الخشب الصلب (شكل 15 ـ 21) كـأشجار الجـوز الامريكى وغـيرها من الأشجـار المخـروطية مثـل نوعى الصنـوبر الأحمـر والابيض والتنـوب والتنوب الفضى . أما الغابات متساقطة الأوراق فتشمل اشجار القـان birchs ، والزان beech والقيقب maple والـزيزفـون الامـريكى basswood والبلوط . ومن أهم أشجـار الغـابـات الشرقية متساقطة الأوراق (شكل 15 ـ 22) ، البلوط والجوز الامريكى والزان والقيقب والمران ashs والزيـزفون الامـريكى والخـروب الاسـود black locust والحـور الاصفـر yellow poplar والجوز welnut وتحتوى الغابات الجنـوبية الشرقيـة (شكـل 15 ـ 18) عـلى خليط مـن الأشجـار الخشبيـة والصنـوبريـات . وتشتمل هـذه الغابـات على عـدة انواع من



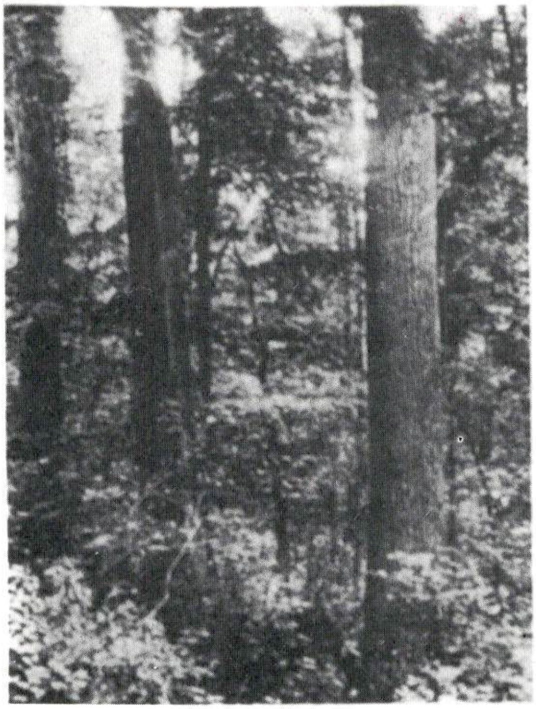
شكل (15ـ19) منطقة التندرا tundra (شمال كندا)



شكل (15ـ20) غابة شمالية وتعاقب نباتاتها : نباتات عائمة فى البركة شجيرات على خط الشاطىء ثم حدود غابة من اشجار التنوب fir (Abies) والتنوب الفضى (Picea) Spruce واللاركس (الارزية) Larch (Larix)

شكل (15ـ21) غابة اشجار خشبية صلدة .





شكل (15ـ22) غابة من اشجار نفضية
Deciduous forest (متساقطة الاوراق)

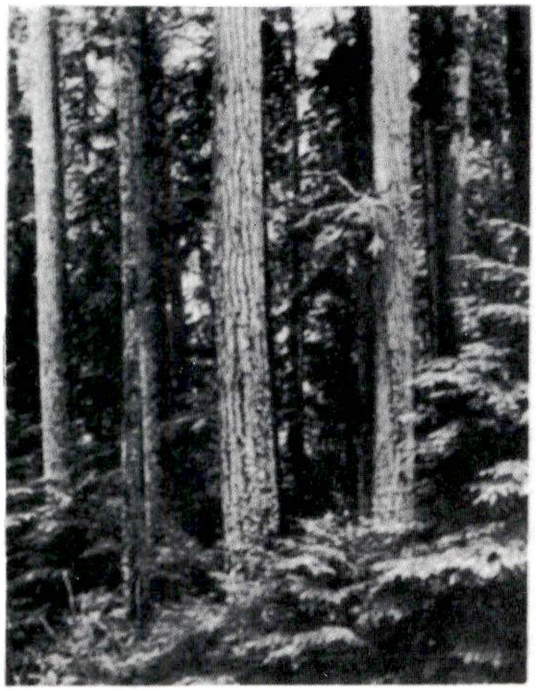
الصنوبر ، ومن بينها الأنواع التى تنتج التربنتين turpentine والراتنج rosin التجاريتين (شكل 7 ـ 19) . كما استغلت حديثا فى عجينة لب الخشب لصناعة الورق . كما تحتوى هذه الغابات على الارز الاحمر red cedar (juniperus virginiana) ، والأشجار gums والبلوط والجوز الامريكى والسرو الاجرد balel cypress وغيرها .

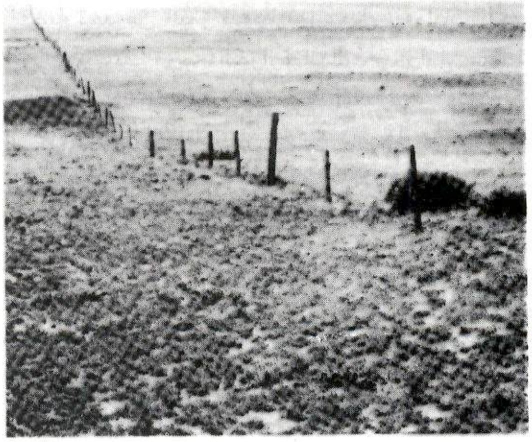
الغابات الغربية *Western forest* يقسم الحوض الكبير القاحل شديد الحرارة الغابات الغربية الى قسمين ـ هما غابات شاطىء المحيط الهادى وغابات الجبال الصخرية . وتسود الغابات الصنوبرية كلا القسمين . وأهم غابات اشجار المحيط الهادى (شكل 15 ـ 23) التنوب والصنوبر والجوز الامريكى والارز والخشب الاحمر وتنوب دوجلاس (وهوليس من اشجار التنوب بتاتا) والتنوب الفضى . وربما يعتبر الصنوبر الاصفر الغربى أو البينديروزا ponderosa أهم الانواع النباتية فى الغابات الجبلية الشرقية ، ولكن يوجد ايضا شربين دوجلاس والصنوبر الابيض الغربى وغيرها من المخروطيات الثمينة .

وقد تضاف أنماط الى هذه الغابات الاستوائية ، ولا توجد الا فى مناطق متناثرة فى الطرف الجنوبى لولاية فلوريدا ، والانواع التى توجد فى هذه الغابات مثل نباتات التين الهندى mangrove والنخيل والتين البرى wild fig والماهوجنى mahogany ما هى الا امتداد لمدى هذه الغابات فى جزر الهند الغربية ، كذلك فى امريكا الوسطى والجنوبية .

اراضى المراعى Grassland وتمتد هذه المراعى فى الاتجاه الغربى من الغابات الشرقية حتى جبال روكى وتقع فى مناطق خالية من الاشجار غالبا وتختلف درجة الحرارة فيهاكما تسقط عليها كمية قليلة من الامطار . ومن هذه المناطق جزء

شكل (15ـ23) غابة تنوب دوجلاس
Douglas fir (Pseudotsuga menziestii)
بالقرب من واشنطن



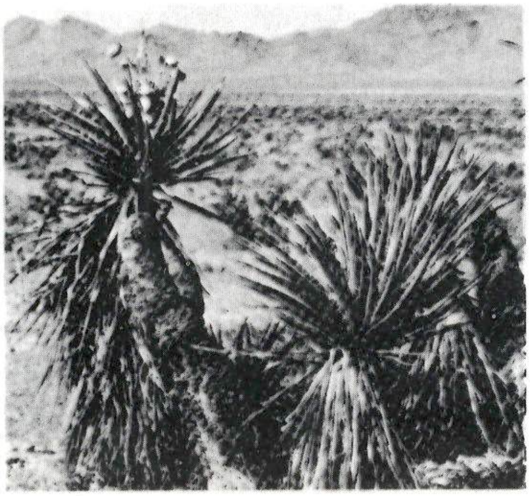


شكل (15ـ24) مراعى النجيليات القصيرة

يحده الغابات الشرقية وهى البرارى ، وكانت فى الماضى مغطاة بالنجيليات الطويلة ، أما الآن فانه يكون الحزام الغربى ويزرع على نطاق واسع بمحصول الذرة ، وتمتد هذه المنطقة حتى تلتحم بالسهول الكبيرة (15 ـ 24) التى كانت فى الماضى مغطاة بالنجيليات القصيرة التى تحتمل الجفاف مثل الجراما gramaوعشب الجاموس baffalo grass ، اما الآن فانها تزرع على نطاق واسع بمحصول القمح وتوجد اراضى المراعى ايضا فى ولايتى واشنطن وكاليفورنيا .

وتسقط على كثير من مناطق السهول الكبيرة كمية من الامطار مقدارها(250 ـ 500) ، تتركز فى اوائل فصل النمو . وبسبب هذه الكمية القليلة من الامطار وتوزيعها ، وكذلك بسبب ارتفاع معدل التبخير لايلام هذا المناخ لنمو الاشجاروما تتعرض له السهول الكبيرةلفترات جفافيةمتتالية، وكذلك سوء استعمال ارضها باستنزافها بالزراعة والرعى الشديد قد ادى الى تعريتها بالرياح فى كثير من مناطقها ، ولا تصلح اجزاء كثيرة من هذه المنطقة الا لرعى الماشية والاغنام تحت رقابة دقيقة .

الصحارى Desert تقل بوضوح كمية الارقام التى تسقط على المناطق الصحراوية ، كما يرتفع فيها معدل التبخير وتنخفض الرطوبة النسبية ، وتتناوب درجة الحرارة العالية اثناء النهار مع درجة الحرارة المنخفضة اثناء الليل . وفى امريكا الشمالية تقع معظم المناطق الصحراوية بين جبال روكى

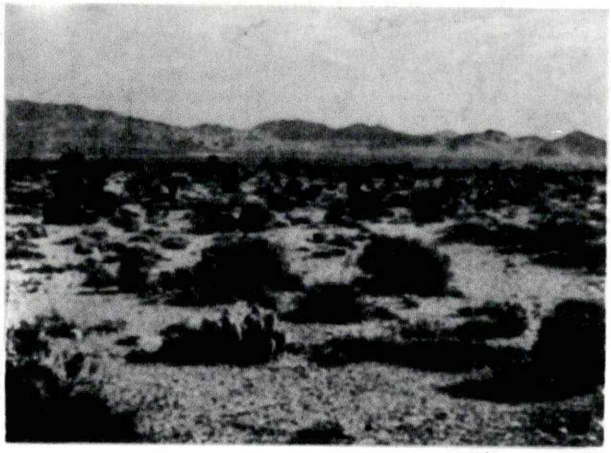


شكل (15ـ25) نباتات من الشجيرات الصحراوية (صحراء موجاف جنوب نيفادا) الصورة مأخوذة فى الصيف حيث تفتقر معظم الشجيرات لاوراقها . يظهر فى وسط مقدمة الصورة نبات كاكتس الشليك Strawberry cactus (Echinocereus engelmannii)

ومنطقة سيرانيفادا ا ، وتمتد هذه المناطق جنوبا حتى الارض المرتفعة فى المكسيك .

ولا توجد حدود فاصلة بين الصحارى واراضى المراعى . وتحمل الصحارى كساء خضريا ناحلا إلا انه مشوق لان معظم اجزائه تتلائم بوضوح مع الوسط والشجيرات القصيرة ذات الاوراق الصغيرة ، سواء منها دائمة الخضرة او متساقطة الاوراق هى الصور الحية للحياة النباتية فيها (شكل 15 ـ 25) . ومن بين الطرز الاخرى لنباتات الصحارى النباتات العصارية ، مثل انواع الكاكتوس وانوع اليوكا yuccas التى تحمل اوراقا مستطيلة ضيقة (شكل 15 ـ26) والنجيليات السلكية wiry grasses والنباتات قصيرة العمر الحولية التى تنبت على الفور وتنمو بسرعة وتنضج بذورها فى الفترات القصيرة الممطرة .

يتناول هذا الفصل فى معظم اجزائه موضوع الملاءمة وهى التغيرات فى التركيب او العمليات التى تصاحب بعض انماط خاصة من طرق الحياة . وكان يظن فى الماضى ان الملاءمة قد نشأت استجابة لبقاء الكائنات الحية على قيد الحياة



شكل (15_26) نبات اليوكا (Mojave yucca (Yucca schidigera في صحراء نيفادا .

واحتياجها لها . فارتباط الملائمة ارتباط وثيقا بالعوامل البيئية كثيرا ما يوحى ان الغابات تستجيب للبواعث البيئية عن قصد او غاية اما الان فقد عرف ان الملاءمة قد نشأت نتيجة العوامل البيئية او انتقائها الى آليات وراثية متغيرة فى الكائنات الحية . وفى الفصلين السادس عشر والسابع عشر ذكرت الاسس التى يمكن بها الادراك هذه الآليات وكيف تعمل .

الخلاصة : Summary

1 ـ تؤثر الاوساط البيئية العديدة على النباتات التى تنمو بها كما تتأثر هذه الاوساط وتتحور بها ويختص علم البيئة بدراسة العلاقات بين النباتات واوساطها البيئية ويسمى الوسط المعين الذى يوجد به نبات أو مجموعة من النباتات باسم البيئة .

2 ـ حياة النبات وكذلك اوساطها البيئية المختلفة ما هى الا نتيجة للمظاهر البيئية وتفاعلاتها مع بعضها وتصف هذه المظاهر البيئية الى ثلاث عوامل هى : المناخية والارضية والاحيائية .

3 ـ درجة الحرارة وكمية المطر هما أهم العوامل المناخية ، وتؤثر درجة الحرارة على طول فصل النمو ، فدرجة الحرارة المنخفضة تحد من النمو فيهبط بها معدل العمليات الحيوية فى النبات وتسبب درجة الحرارة العالية ضرراً او موتا له ، وذلك لارتفاع عملية النتح على وجه الخصوص وتؤثر كمية المطر على توزيع النباتات عن طريق تأثيرها على كمية الماء الذى يتاح للنبات امتصاصها من التربة .

4 ـ تقسم النباتات حسب علاقاتها بالماء الى :صحراوية ، ووسطية ، ومائية ونباتات كل مجموعة من هذه المجاميع لها مظاهرها الداخلية والخارجية التى تربط بالوسط البيئى الذى تعيش به .

5 ـ تتساوى عادة شدة الاضاءة التى تسقط على مناطق واسعة ولكنها تختلف فى مواضع معينة ، وتختلف النباتات تبعا لشدة الاضاءة الى مجموعتين هما النباتات التى تتحمل الظل والنباتات التى لاتتحمل . وقد تكون شدة الاضاءة التى يتعرض لها النبات عاملا محددا فتحد من نموه وتكاثره .

6 ـ من عوامل التربة الهامة طبيعتها وتركيبها وخصوبتها وحموضتها ودرجة حرارتها وتعوق درجة الحرارة المنخفضة من النمو على طريق تأثيرها على عمليات النشاط الحيوى للجذر وكذلك بكتيريا التربة .

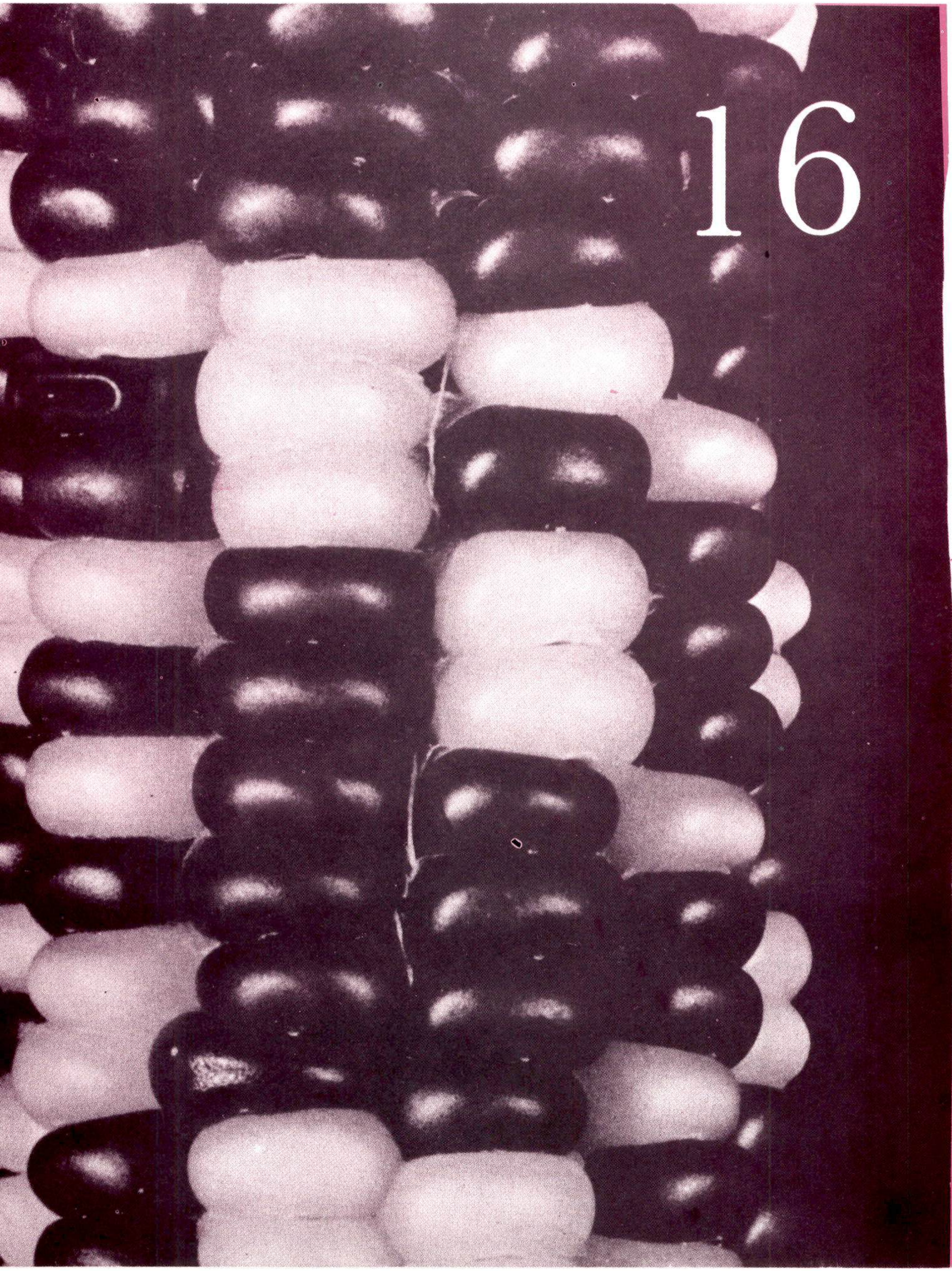
7 ـ التنافس هو اهم العوامل الاحيائية ، وتتنافس النباتات فيما بينها على الماء والاملاح المعدنية وكذلك الضوء فى الغابات الاستوائية المطيرة ، أهم ما تتنافس عليه نباتاتها هو الضوء .

8 ـ يعمل النبات على تحسين الموطن الذى ينمو به فيتشبت بالتربة ويجعلها متماسكة ، كما يزيد من محتواها العضوى وخصوبتها. حينئذ تغزو انواع جديدة من النباتات هذا الوسط الاصلح وتزاحم النباتات الاولى .

9 ـ تعاقب الطوائف النباتية على منطقة ما واحتلالها لها يعرف بالتتابع . ويميز كل طور من اطوار التتابع بأنواع سائدة معينة ، ويؤدى التتابع الى الذروة . والتتابع نوعان : تتابع ابتدائى وتتابع ثانوى .

10 ـ النظم البيئية الأرضية والاساسية فى امريكا الشمالية هى الغابات المخروطية والغابات الاستوائية متساقطة الاوراق ، والتندرا واراضى المراعى ، والادغال والصحارى ، وكل نمط من انماط الكساء الخضرى فى كل منها يعتمد أساساً على درجة الحرارة وكمية المطر .

الوراثة فى النبات
Inheritance in Plants


16

الوراثة فى النبات

Inheritance in Plants

من المسلم به بوجه عام أن جميع الكائنات الحية قادرة على تكوين نسل مشابه لها . فبذور نبات بقولى مالاتكون الا هذا النبات البقولى ، وثمرة جوز البلوط تكون شجرة بلوط ولاتكون شجرة تفاح . وبسبب هذا التشابه الوراثى يمكن تصنيف الكائنات الحية ، سوء النباتية منها أو الحيوانية ، الى مجاميع تبعا لتشابه أفرادها أو احتمال تقارب هذه الأفراد .

ولايفصل الأبوين عن نسلهما إلا جسر أو حلقة ضيقة . وفى معظم الكائنات الحية تتكون هذه الحلقة من خلية واحدة هى البيضة الملقحة . وتصل هذه الحلقة الوراثية بين الأجيال المتعاقبة ، وتنتقل كل الامكانيات الوراثية الى هذه الاجيال عبر هذه الخلية . فهى تحمل الامكانيات الضرورية التى ينتمى نصفها الى الأب ، وينتمى نصفها الآخر الى الأم . وتحدد هذه الامكانيات نمط النبات (أو الحيوان) الذى سيتكون منها .

وبسبب هذه الامكانيات التى تنتقل عبر الخلايا التكاثرية يوجد اختلاف بين الأفراد كما يوجد تشابه بينهما . وتؤدى هذه الامكانيات الى هذا الاختلاف بين الأفراد بحيث لايوجد منها فردان متماثلان تماما (اللوحة رقم 6) . والاختلاف الكبير بين الأفراد حتى وان تشابهت وراثيا يتوقف على البيئة التى تنمو فيها . وعلى ذلك فمن الضرورى التمييز بين هذا الاختلاف الذى لايورث بني الأفراد ، وبين نظيره الذى يورث وينتقل من جيل الى جيل .

ودراسة الوراثة والتغيرات او العلم الذى يبحث فى فهم الآليات التى تتحكم فى انتقال الامكانيات والاحتمالات الوراثية من الأبوين الى النسل يطلق عليه علم الوراثة Genetics . إن التطورات العظيمة التى طرأت على علمى الزراعة والبستنة وبخاصة تربية النباتات النافعة ماهى إلا ثمرة من ثمار التطبيق العملى لعلم الوراثة . وفضلا عن ذلك فقد كانت المعرفة التى استقيناها من علم الوراثة بمثابة نافذة أطلت على الغز المحير لتطور المادة العضوية . وقد زودتنا هذه المعرفة وأعانتنا على ادراك حقيقة ماجرى من آليات عبر العصور لاستحداث الأنماط الجديدة المتباينة من الحياة .

ويرجع تاريخ الدراسة الحديثة لعلم الوراثة الى عام 1900 ، وان كان قد تم قبل هذا التاريخ اجراء كثير من التجارب على تربية النباتات والحيوانات . ومن هذه التجارب أمكن معرفة الكثير ، إلا أن هذه المعرفة لم تستطع صياغة القوانين التى تستخدم للتكهن بنتائج التزاوج بين نباتات لها صفات وخصائص متباينة (التهجين Hybridization). وفى عام 1866 نشر العالم النمساوى جريجور مندل Gregor Mendel نتائج تجاربه على التهجين ، خصوصا على نبات البازلاء (Pisum Astivum) ، وقد استغرقت هذه التجارب ثمانية أعوام . وبالرغم من أن عمله هذا قد حوى حلا لمشكلة طالما حيرت دارسى الوراثة ، إلا أن أهمية هذا العمل ظلت عدة سنين دون التسليم بها . وفى بداية هذا القرن أعاد ثلاثة من الباحثين كل مستقل عن الآخر ، اكتشاف نتائج مندل ، وتثبتوا من صحتها .

واحد الأسباب التى أدت الى عدم نجاح الآخرين فى الحصول على القوانين التى تتحكم فى الوراثة هو أنهم كانوا

يرصدون فى أن واحد كل الصفات العديدة التى يختلف فيها الأبوان . أما مندل فكان على العكس من ذلك يتجاهل كل الصفات فيما عدا بعض الصفات المتفارقة Contrasting ، الواضحة وهى التى كانت محل دراسته ، كل صفة بمفردها . والسبب الآخر لعدم نجاح المحاولات الأولى هو الاعتقاد الذى كان سائدا وقتئذ ، بأن الصفات الوراثية لأفراد النسل ماهى الا مزيج أو خليط من صفات الأبوين . أما مندل فقد اكتشف مايوجد فى الخلايا التكاثرية من وحدات تتحكم فى طبيعة الكائن الحى ، كما اكتشف كيف تنتقل هذه العوامل من الأبوين الى النسل وكيف ينتقل كل عامل منها على حدة .

قوانين الوراثة المندلية
Laws of Mendelian Inheritance

تعتبر تجارب مندل وماصاغه من قوانين أساسا لفهم حقيقة العمليات الوراثية ، وفيما يلى نورد ملخصا لأهم ماوجده .

الصفتان السائدة والمتنحية :
Dominant and Recessive Characters

تختلف أشكال وأصناف عديدة من نبات البازلاء فى عدد من الصفات الواضحة الثابتة . وقد اختار مندل من هذه الصفات سبعة أزواج محددة ، يسهل التمييز بينها مثل الطول والقصر . ثم لقح النباتات التى تحمل الصفات المتباينة . ولما كان نبات البازلاء يتم تلقيحه فى الطبيعة تلقيحا ذاتيا فقد ، أتم مندل التلقيح الخلطى بفتح البرعم الزهرى قبل نضج حبوب اللقاح ، ثم أزال الأسدية ولقح الميسم بحبوب لقاح من النبات المطلوب وقد حوت تجارب مندل كل تلك الازواج السبعة من الصفات ولكن للسهولة سنكتفى بذكر بعضها .

ففى أحدى التجارب تم تلقيح صنف بلغ طوله 180 سم تقريبا بصنف آخر بلغ طوله حوالى قدم واحد . وبعد أن زرعت بذور هذا الهجين ، لم تنتج نباتات وسطا بين الابوين كما كان متوقعا ، ولكن كانت كلها طويلة كأحد الأبوين الذى بلغ طوله 180 سم . وقد أجرى مندل تجارب تلقيح أخرى كان الهدف منها دراسة وراثة بقية الأزواج السبعة من الصفات المتباينة . وفى كل حالة وجد مندل أن الهجين يشابه أحد الأبوين فى احدى هذه الصفات ، أما الصفة الأخرى المقابلة فلا أثر لها ولم تظهر فى الهجين .

وقد أطلق مندل على صفة الطول وكذلك الصفات الأخرى التى تظهر فى الهجين دون تبدل اسم الصفة السائدة Dominant . أما الصفة الأخرى المقابلة والتى لم تظهر فى الهجين فقد سماها مندل الصفة المتنحية Recessive . وفى تجارب التلقيح الأخرى وجد مندل أن استدارة البذور هى الصفة السائدة أما تجعدها فهى الصفة المتنحية ، كما وجد أيضا أن توزيع الأزهار على طول الساق هى الصفة السائدة أما تجمعها فى طرف الساق فهى الصفة المتنحية .

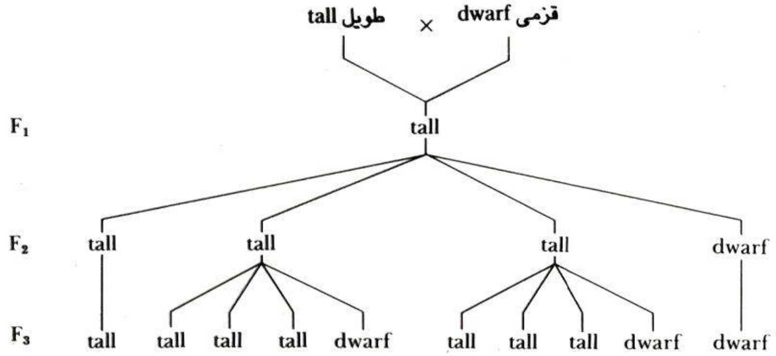
ويرمز للنبات الهجين الذى ينتج من البذور التى تكونت بعد التلقيح الخلطى بالرمز (F1) أو الجيل الأول .

وبعد ذلك أتاح مندل لنباتات الجيل الاول (F1) فى كل تلقيح من تلقيحاته المختلطة ، بأن تتلقح تلقيحا ذاتيا لتكون بذورا . فاذا مازرعت هذه البذور فإن نباتات الجيل الثانى (F2) الناتجة لاتكون كلها طويلة بل إن بعضها يكون قصيرا ، وإذا ماتركت نباتات الجيل الثانى لتتلقح تلقيحا ذاتيا نتج الجيل الثالث (F3) . حينئذ وجد مندل أن النباتات القصيرة من الجيل الثانى لاتكون إلا نباتات قصيرة . أما النباتات الطويلة من الجيل الثانى فان ثلثها فقط هو الذى ينتج نباتات طويلة بينما الباقى ينتج كلا من النباتات الطويلة والقصيرة بنسبة 1:3 ، وهى نفس النسبة التى ظهرت فى الجيل الثانى (شكل 16 ـ 1) . وحيث إن نسل النباتات الطويلة يشمل أيضا نباتات قصيرة ، فقد وضح مندل أن التركيب الوراثى لايرتبط بالضرورة بالمظهر الخارجى . وكان لهذا الاكتشاف مغزاه كما أنه على جانب كبير من الأهمية .

الأساس الكروموسومى لمذهب مندل The Chromosome Basis of Mendelism

كان مندل على علم بالحقائق الجوهرية الخاصة بالتكاثر الجنسى فى النباتات ، كما كان يؤمن بأن نتائج تجاربه لاتتعارض مع هذه الحقائق . وكان على يقين بأن ماوجده من نتائج يمكن تفسيره على أساس حمل البويضات وحبوب اللقاح لعوامل تؤثر على مظهر الهجين . وبناء على ما وجده مندل فان الأصالة فى النباتات التى لقحت تلقيحا ذاتيا قد نشأت من التشابه الوراثى بين البويضة الملقحة وبين خبوب اللقاح . أما غيرها من النباتات غير الأصيلة فى تربيتها ، أى التى تنتج بالتهجين فإنها تتكون من التحام خلايا تناسلية تحمل عوامل غير متشابهة . وكان مندل على حق فى كل هذه الفروض ، ومنذ عام 1900 أمكن التقدم خطوة أخرى وتفسير نتائج مندل على أساس تراكيب وعمليات لم تكن معروفة له .

ولفهم نتائج مندل على ضوء ماهو معروف الآن يلزم استعادة بعض الأطوار التى يمر بها النبات الزهرى فى تاريخ حياته . فنواة كل مشيج ، سواء المشيج المذكر أو البويضة ، لاتحمل الا نصف عدد الكروموسومات الموجودة فى أحد الأبوين ، ويرمز



شكل (16 ـ 1) مظهر نبـاتات البـازلاء بعد ثـلاثة اجيـال من تهجين نـوع طويل منها مع نبات قزمى تمت العملية بالتلقيح الذاتى بدءا من F1 (الجيل الاول) والاجيال التالية .

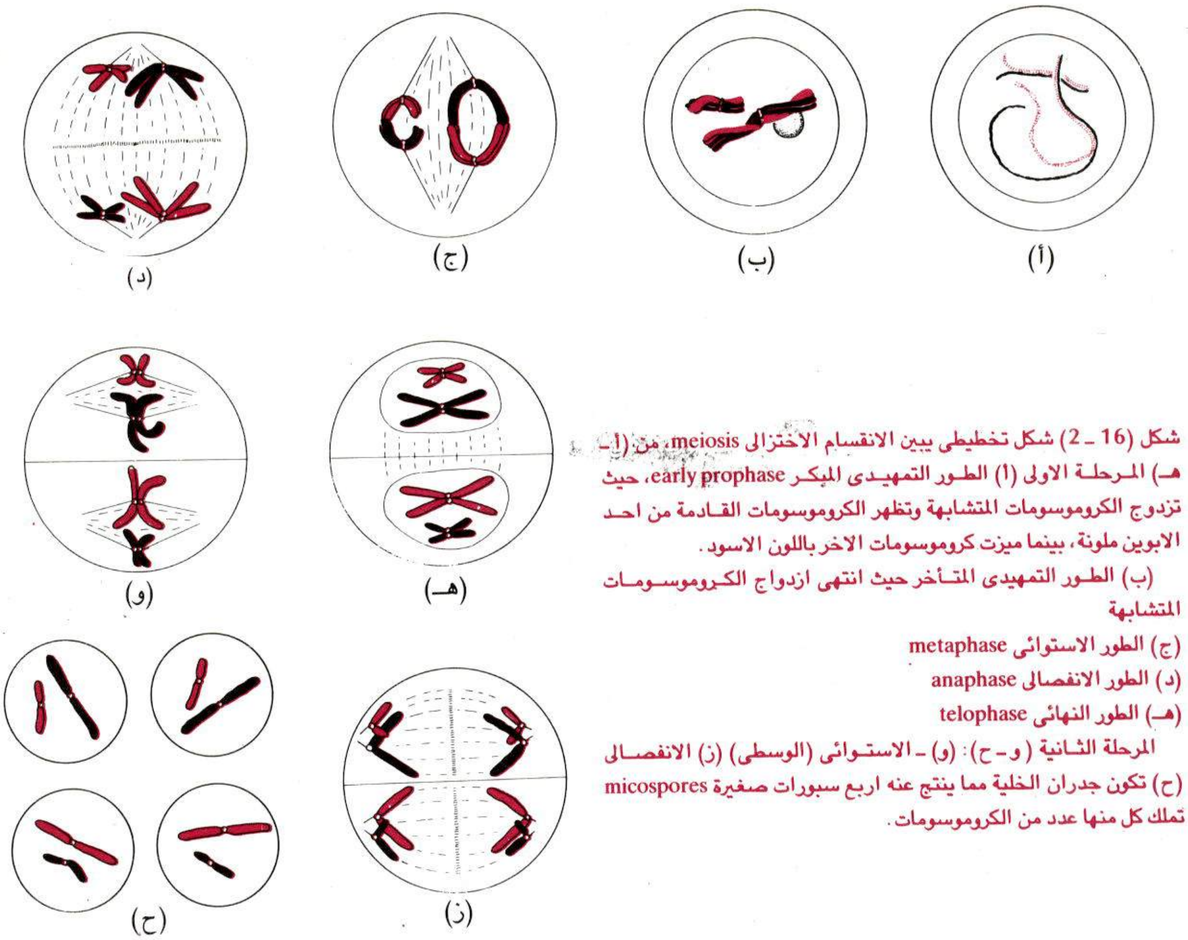
لهذا العـــدد بالرمز (n) . فـإذا التحمت الأمشاج تضـاعف هذا العدد وحينئذ يرمز له بالرمـز (2n) أو العدد الـزوجى من الكروموسومات . ويوجد هذا العدد (2n) فى كـل خلايـا جسم النبات ، ولكنه يختزل ثانية الى العدد (n) (أو العدد الفردى) ، عنـد انقسام الخـلايا الأميـة السبوريـة لتكـوين السبـورات الصغيرة Microspores او السبورات الكبـيرة Megaspores وتتم عمليـة الاختزال فى كـل من المتـك والمبيض . وبـدراسـة سلـوك الكرومـوسومـات فى هـذه العمليـة يمكن تفسـير نسب مندل .

الانقسام الاختزالى : Meiosis

أينما وجدت الكرموسومات فـإن الطريقـة التى تختزل بهـا من العدد (2n) الى العدد (n) تتشابه فى جوهرهـا . وعلى ذلـك يكفى وصف آليات هذه العملية كما تحـدث داخل المتـك . فكل خلايا النبات بما فيها الخلايا الأمية السبورية فى المتـك تحتوى على العدد (2n) من الكروموسومات . وكل الانقسامات النووية التى حدثت حتى الآن هى انقسامات غير مبـاشرة . وبعد ذلـك تنقسم كل خلية من الخـلايا الأمية الصغيرة ، انقسامين ينتـج عنهمـا أربعة سبـورات صغيرة . وأثنـاء هـذين الانقسـامـين النوويين اللذين يعرفـان اجمالا بـاسم الانقسام الاختـزالى ، يختـزل عدد الكـروموسـومات من العـدد الـزوجى الى العـدد الأحادى .

ولنفرض سبور صغير به اربعة كروموسومات ، اثنان منها ينتميان اصلا الى السبرم واثنان الى البويضة . ففى هذه الخلية الامية الصغيرة واثناء عملية الانقسام الاختزالى ، يختزل عدد الكروموسومات فى نواة كل منها من اربعة الى اثنين (شكل 16ـ2) . ويتم الانقسام الاختزالى على مرحلتين (I . II) وعادة ماتبدأ المرحلة الثانية بعد نهاية المرحلة الاولى مباشرة . ويطول الطور الاولى من المرحلة الاولى ، كما يتميز بعدة احداث هامة . ففى بداية هذا الطور تستطيل الكروموسومات بدرجة كبيرة ثم تقترن على امتداد طولها تماما ، وتعرف هذه العملية باسم الاقتران synapsis (شكل 16ـ12) . ولا يحدث هذا الاقتران اعتباطا دون تمييز ، بل يقع دائما بين كروموسوم ينتمى الى احد الابوين وكروموسوم مناظر له ينتمى الى الوالد الاخر . ويطلق على هذين الكروموسومين المقترنين اسم الكروموسومات المتماثلة homologous ، لانها تتشابه فى مظهرها وتحمل جينات متناظرة تؤثر على نفس الصفات . وعند الاقتران يكون كل كروموسوم مكونا من خيط مزدوج به كروماتيدين شقيقين sister chromatids ، كما فى الطور الاولى للانقسام غير المباشر . واثناء الطور الاولى كله خصوصا فى المرحلة الاخيرة منه تتغلظ وتقصر الكروموسومات حتى انه فى نهاية هذا الطور يصبح واضحا تماما ان كل من الكروموسومات به اربعة كروماتيدات (شكل 16ـ2 ب)

وفى الطور الاستوائى metaphase للمرحلة الاولى تتحرك الكروموسومات نحو المنطقة الاستوائية من المغزل ، ولاتقع السنترومبرات centromeres على طول خط الاستواء ، كما هى الحال فى الانقسام الفتيلى . بل يبدو ان سنترومبرى الكروموسومين المتماثلين يتنافران فيما بينهما وبذلك يتجه كل منهما ناحية كل قطب من اقطاب الخلية ، بينما تتجه اذرعهما ناحية خط الاستواء (شكل 16ـ2جـ) وفى الطور الانفصالى anaphase ، الاول تنفصل الكروموسومات عن



شكل (16 ـ 2) شكل تخطيطى يبين الانقسام الاختزالى meiosis، من (أ ـ هـ) المرحلة الاولى (أ) الطور التمهيدى المبكر early prophase، حيث تزدوج الكروموسومات المتشابهة وتظهر الكروموسومات القادمة من احد الابوين ملونة، بينما ميزت كروموسومات الاخر باللون الاسود.

(ب) الطور التمهيدى المتأخر حيث انتهى ازدواج الكروموسومات المتشابهة

(ج) الطور الاستوائى metaphase

(د) الطور الانفصالى anaphase

(هـ) الطور النهائى telophase

المرحلة الثانية (و ـ ح): (و) ـ الاستوائى (الوسطى) (ز) الانفصالى (ح) تكون جدران الخلية مما ينتج عنه اربع سبورات صغيرة micospores تملك كل منها عدد من الكروموسومات.

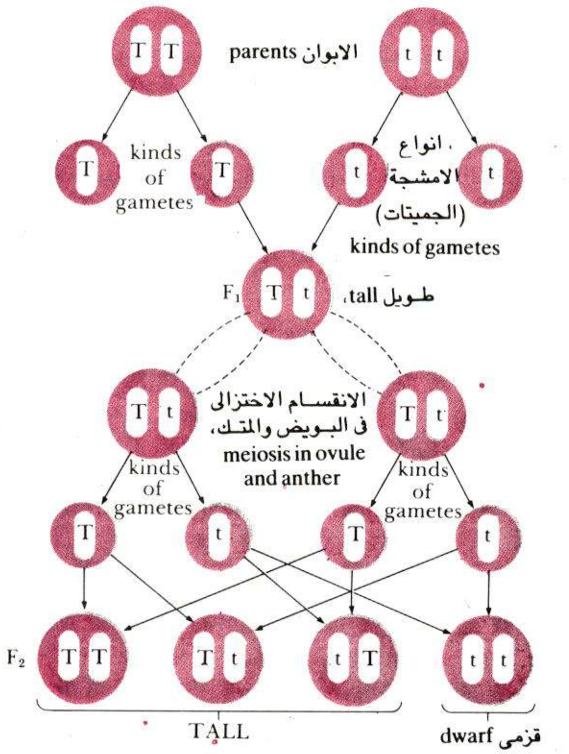
بعضها وتتحرك فى اتجاه قطبى المغزل. ولا ينفصل الكروماتيدان الشقيقان لكل كروموسوم كما هى الحال فى الانقسام الفتيلى. الا ان اذرع الكروماتيدين فى كل كروموسوم تنفرج كما لو انها تتنافر (16ـ2د). ويختلف الطور النهائى telophase الاول (شكل 16ـ2و) عن نظيره فى الانقسام غير المباشر (الفتيلى)، حيث تختفى النويات عادة، اما غشاء النواة nuclear membrane فيتم تكوينه. وبتمام هذه العملية يختزل عدد الكروموسومات الى نصف العدد الموجود فى احد الابوين (4 الى 2) كما يوجد نواتان داخل جدار الخلية الامية للسبور الصغير. وفى بعض كاسيات البذور يتكون جدار خلوى بين النواتين، اما فى كثير منها فإن تكوين الجدار يتأخر الى ان يتم تكوين اربع انوية فى آخر المرحلة الثانية.

وعادة ماتبدأ المرحلة الثانية عقب المرحلة الاولى مباشرة، فكل كروموسوم مكون الآن من كروماتيدين وبهما يبدأ الطور الاستوائى. وعلى ذلك فالطور الاولى الثانى II يكون قصيرا جدا، اذ سرعان مايختفى الغشاء النووى، وترتب الكروموسومات ثانية فى منطقة خط الاستواء للمغزل لتكون الطور الاستوائى (شكل 16ـ2و). وفى الطور الانفصالى الثانى II ينفصل الكروماتيدان فى كل كروموسوم وتتجه كل مجموعة من الكروماتيدات نحو القطب المقابل لها (شكل 16ـ2ز). فإذا ماانفصلت هذه الكروماتيدات فإنها تسمى كروموسومات chromosomes، وحينئذ تتكون الجدّر الخلوية وتمر النويات بمرحلة الطور النهائى لتبدأ مرحلة الطور البينى interphase. ونتيجة لذلك تتكون اربعة سبورات صغيرة لكل منها نصف عدد الكروموسومات.

وواضح الآن مايبرز التسمية الشائعة لهذا الانقسام باسم الانقسام الاختزالى meiosis . ويتكون الانقسام الاختزالى اساسا من انقسامين نووين ، احدهما يتبع الآخر فى تسلسل سريع ، واثناء ذلك لايتضاعف عدد الكروموسومات الا مرة واحدة .

واهم الخطوات فى هذا الانقسام بالنسبة للوراثة هى اقتران الكروموسومات المتماثلة . فالكروموسومات بها جينات مرتبة ترتيبا طوليا وبنظام معين . فكل جين موجود فى موضع معين على كروموسوم له جين مماثل (او ذو صلة به) فى موضع مناظر للموضع الاول على كروموسوم مماثل . ومن الجهة المثالية ، فأى جين فى اى موضع على الكروموسوم هو احد متغيرين ولكن قد يكون واحدا من عدة متغيرات . والجينات ذات الصلة التى تحتل مواقع معينة تسمى الجينات المتماثلة او الاليلات alleles ومعناها « متقابل » او « متناظر » واقتران الكروموسومات المتماثلة فى الانقسام الاختزالى ثم انفصال كل قرين منها الى نواة احادية الكروموسومات يكفل وجود احد الاليلات من كل جين فى كل سبور spore ومشيج gamete .

ولنعد الى التلقيح الذى تم بين نباتات طويلة من البازلاء واخرى قصيرة ، ولنفرض ان النباتات الطويلة قد حوت زوجا من الكروموسومات المتماثلة ، وان كلا منهما يحمل جينا لصفة الطول TT (شكل 16ـ3) . فالجين الذى يحمله احد الكروموسومات فى هذا النبات هو بذاته الجين الذى يحمله مثيله الآخر . ويطلق على مثل هذا النبات متجانس الزيجوت homozygous . فمثل هذا النبات « نقى » بالنسبة لهذه الصفة ، واذا مالقح تلقيحا ذاتيا فإن سلالته تصبح نقية اى لاينتج الا سلالات طويلة فقط . وبالمثل فى النباتات القصيرة التى تحمل جينات لصفة القصر على زوج من الكروموسومات المتماثلة وفى نفس الموضع tt (شكل 16ـ3) . فالجين الذى يحمله احد الكومووسومات فى هذا النبات هو بذاته الجين الذى يحمله مثيله الآخر . فمثل هذا النبات ايضا متجانس فلا ينتج الا سلالات قصيرة اذا مالقح تلقيحا ذاتيا ، وحيث ان الجينين اللذين يؤثران على طول الساق متماثلان ، فإن جميع امشاج النبات الطويل تحوى كروموسوما يحمل جينا لصفة القصر . والتحام مشيج لنبات طويل باخر لنبات قصير



شكـل (16 ـ 3) تهجـين احـادى. يـوضـح الـرسم التخطيطى تصرف الكـروموسـومات التى تحمـل صفات الطـول (T) والقصر (t)، وحيث كان الطول هو الصفة المتغلبة، تنشأ نسبة تراكيب وراثية ظاهريـة تساوى 3:1 وذلك بعد الجيل الثانى (F2).

ينتج نباتا طويلا فى الجيل الاول F_1 ، لان جين صفة الطول (T) يسود جين صفة القصر (t) . حينئذ تحمل نباتات الجيل الاولى F_1 من بين الكروموسومات الاخرى ، زوجا من الكروموسومات المتماثلة تحمل فى موضع معين منها احد الاليلات لصفة الطول والآخر لصفة القصر . وعلى ذلك يطلق على نباتات الجيل الاول اسم متباينة الزيجوت (Tt) heterozygous بالنسبة للجينات التى تحدد طول الساق .

وعندما تزهر النباتات الطويلة المتباينة الزيجوت فإن ازهارها تكون امشاجا من نوعين نتيجة لحدوث الانقسام الاختزالى فى المبيض والمتك . ففى المرحلة الاولى من هذا الانقسام الذى يتم فى كل خلية سبورية امية تنفصل

الكروموسومات المتماثلة ، وفى النهاية يتم تكوين نوعين من البيضات وكذلك نوعين من حبوب اللقاح وذلك بالنسبة لصفتى الطول المتباينتين وبعملية التلقيح الذاتى والاخصاب يتم التحام نوعى البيضة بنوعى حبوب اللقاح بكل الاحتمالات المكنة وينتج عن ذلك نباتات الجيل الثانى .

والاحتمالات المتوقعة لهذا الالتحام هى بنسبة ثلاثة نباتات طويلة الى نبات واحد قصير تقريبا . وتقترب النتائج المطابقة للواقع من النتائج المتوقعة بزيادة عدد النباتات المختبرة . فمثلا وجد مندل ان من بين 1064 نباتا فى الجيل الاول ، 787 منها كان طويلا ، اما النباتات القصيرة فكان عددها 277 نباتا ، اى بنسبة 1:2.84 . ومن الوجهة النظرية المحضة كان المتوقع ان يبلغ عدد النباتات الطويلة 798 نباتا ، وعدد النباتات القصيرة 266 نباتا ، ولايزيد الاختلاف بين النسبتين الملحوظة والمتوقعة عن كونه فرق احتمال .

ومثل هذا التهجين الذى سبق وصفه ، والذى لايتعدى مادرس من الصفات المتباينة فيه غير زوج واحد منها يطلق عليه اسم التهجين الاحادى .

الطراز المظهرى والطراز الجينى : Phenotype and Genotype

يحمل هجين نبات البازلاء الطويل جينات لكل من صفتى الطول والقصر . الا ان نباتات الجيل الاول F_1 تنمو كلها طويلة ، وذلك لان احدى الصفات المتباينة وهى الطول تسود الصفة الاخرى وهى القصر . واذا قارنا النباتات الطويلة فى الجيل الاول بالنباتات الطويلة للابوين ، كان من المتعذر ان نحكم بالمظهر ايهما متشابه الزيجوت وايهما متباين الزايجوت بالنسبة للطول . ويطلق على النبات الذى يتميز بصفة الطول اسم الطراز المظهرى phenotype . ويعنى هذا الاسم الصفة المعبرة او المظهرية للكائن الحى ، ويقابله فى ذلك الطراز الجينى genotype الذى يدل على التركيب الوراثى للكائن الحى ، بصرف النظر عن مظهره الخارجى . فمثلاً كل من الطرأزين الجينيين TT او Tt يكون طرازين مظهريين طويلين . ففى كثير من الحالات لايمكن تحديد هذه الطرز الجينية بالطرز المظهرية ، فلتحديدها يلزم اجراء تجارب على النسل .

والنسبة 1:3 التى لوحظت فى الجيل F_2 هى بالطبع نسبة للطراز المظهرى والشكل (16-3) يبين ان ثلثى النباتات الطويلة فى الجيل الثانى لها طراز ا متباين بالنسبة لصفة الطول ، فاذا مالقحت هذه النباتات تلقيحا ذاتيا فانها لاتنتج هجنا اصيلة . وعلى ذلك فنسبة الطراز الجينى لنباتات الجيل الثانى F_2 هى 1:2:1 . وقد نتجت هذه النسبة من ان متوسط عدد النباتات متجانسة الزيجوت بالنسبة لصفة الطول يبلغ 25 فى المائة ، وان عدد النباتات متباينة الزيجوت يبلغ 50 فى المائة ، اما عدد النباتات متجانسة الزيجوت بالنسبة لصفة القصر فيبلغ 25 فى المائة . والنسبة 1:2:1 . ليست فقط نتيجة لاحتمال اندماج الامشاج وقت التلقيح ، بل انها ايضا نتيجة للكيفية التى يتم بها توزيع الكروموسومات (وكذلك الجينات) فى الامشاج المختلفة وقت حدوث الانقسام الاختزالى .

انعــزال الجينــات : Segregation of Genes يحتــوى المشيج إلا على جين واحد من كل زوج من الجينات المتناظرة أو الاليـلات . والهجين الـذى يتكون من تلقيـح نباتـات طـويلـة بأخرى قصيرة يحمل جينين لكلتا الصفتين المتفارقتين ، إلا أنه نظرا إلى أن أحدى الصفات تسود الأخـرى فلا يظهـر من هذه الصفــات إلا واحــدة فقط . إلا أن كــل مشيــج من الهجــين لا يحمل غير جين واحد ، فنتيجـة لعملية الانقسـام الأختزالى تستقبل نصف الأمشاج جـين الطول ، بينمـا يستقبل النصف الثـانى جين القصر (شكـل 16 ـ 3) . ويطلق عـلى انفصـال جينات الطول عن جينـات القصر اسم الانعزال segregation ويعرف مبدأ انعزال الجينات وتحكمها فى الصفات الـوراثية ، كل صفة على حدة ، باسم قانون مندل الأول .

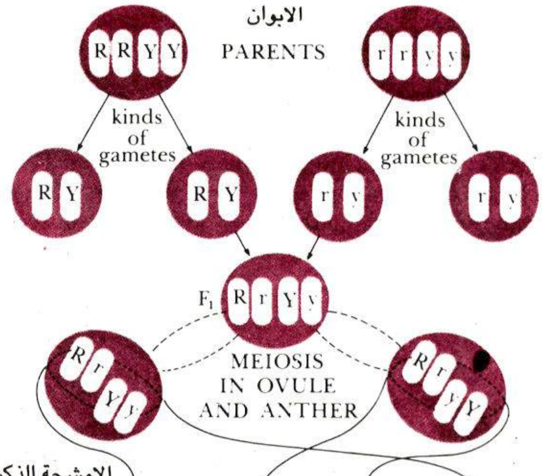
الهجـائن الثنـائيـة : Dihybrids ولنـدرس الآن أحـد التزاوجات التى أجـراها منـدل ، ونتتبع زوجـين من الصفات بدلا من زوج واحد . ويطلق على هذا التزاوج ثنائى الهجـين .

فالكائن الحى ثنائى الهجين هو كائن متباين الزيجوت بالنسبة لزوجين من الصفات المتضادة . فقد لقح مندل نباتات تحمل بذورا مستديرة وصفراء ، بنباتات أخرى تحمل بذورا مجعدة وخضراء ، وحيث أن الجينات التى تؤثر على هذه الصفات تقع على كروموسومات مختلفة فإن كل صفة من هذه الصفات تورث مستقلة عن الأخرى . ويرمز للطراز الجينى للاب (أو الأم) الذى يحمل بذورا مستديرة صفراء بالحروف الكبيرة (RRYY) ، كما يرمز للأب (أو الأم) ، الذى يحمل بذورا مجعدة خضراء بالحروف الصغيرة (rryy) . ويحمل الأبوان على زوجين من الكروموسومات المتماثلة جينات لصفتى الاستدارة والاصفرار ، أو الصفتين المضادتين لهما ، وتنفصل هذه الكروموسومات فى الانقسام الاختزالى كل منهما يتجه نحو أحد قطبى الخلية ، وفى النهاية تتجمع الكروماتيدات البنوية فى أمشاج مختلفة . وحيث إن كلا من الأبوين متجانس للجينات المذكورة آنفا فان أمشاج الأب تتشابه فيما بينها ، كذلك أمشاج الأم أى إن أحد الأبوين (وليكن الأب) لا ينتج إلا أمشاجا يرمز لها بالرمز (RY) ، كذلك لاتنتج الأم إلا أمشاجا يرمز لها بالرمز (ry) . والطراز الجينى لنباتات الجيل الاول F_1 الناتجة من تلقيح هذه الأمشاج هو (RrYy) . وهذا الطراز الجينى يحمل بذورا مستديرة صفراء لسيادة هاتين الصفتين .

التوزيع المستقل Independent Assortment الصدفة وحدها هى التى تتحكم فى سلوك الكروموسومات أثناء المرحلة الأولى من الانقسام الاختزالى . فبطريق الصدفة ولا شىء غيرها يتجه كروموسوم من الكروموسومين المتماثلين ناحية أى قطب من القطبين المتقابلين . وعلى ذلك ففى هذا الهجين الثنائى قد يتجه الكروموسوم الذى يحمل الجين (R) إلى نفس القطب الذى يتجه إليه كروموسوم من زوج آخر يحمل الجين (Y) ، أو إلى نفس القطب الذى يتجه اليه كروموسوم من زوج آخر يحمل الجين (y) ويتساوى كلا الاحتمالين . وبالمثل قد يتجه الكروموسوم الذى يحمل الجين (r) إلى نفس القطب الذى يتجه إلى كروموسوم يحمل الجين (Y) أو إلى نفس القطب الذى يتجه إليه الجين (y) . ويتساوى كلا من الاحتمالين أيضاً ..

ومع ذلك ففى الانقسام الاختزالى العادى ينفصل الكروموسومان المتماثلان عن بعضهما ثم يتجه كل منهما ناحية أحد القطبين المتقابلين ، حيث تكون الكروماتيدات البنوية لكل كروموسوم منهما أمشاجا مختلفة . وفى كل من السبور الأمى الصغير والسبور الأمى الكبير ، ينتج عن الاحتمالات التى فيها تنضم كروموسومات الأزواج المختلفة أربعة طرز من الأمشاج ويبين التركيب الوراثى لهذه الأمشاج أن نصف عدد الأمشاج التى تنتج من الجيل الاول F 1 تحمل الجين R 1 ، بينما يحمل النصف الآخر الجين (r) . وهذا بالنسبة للبذور المستديرة فقط ، ولكن كل مشيج يحمل أيضا جينات أخرى غير الجين المختص بشكل البذرة . وعلى ذلك فنصف عدد الأمشاج يحمل الجين (Y) بينما يحمل الجين الآخر (y) . وانضمام الجينات بعضها إلى بعض لتكوين أى مشيج منها هو من قبيل الصدفة . فانضمام الجين (R) إلى الجين (Y) أو إلى الجين (y) هو من قبيل الصدفة ولا شىء غيرها . كذلك من قبيل الصدفة وحدها أن ينضم الجين (r) إلى الجين (Y) أو إلى الجين (y) . وبناء عليه تتكون أربعة طرز من الأمشاج هى : (RY) ، (Ry) ، (rY) ، وكذلك (ry) . ويتم انتاج هذه الأمشاج كما هو متوقع بأعداد متساوية . والاحتمالات التى بها تندمج الجينات فى أمشاج الهجين gametes of hybrid ويطلق عليها قانون التوزيع المستقل Law of independent assortment أو قانون مندل الثانى Mendel's second Law .

نسبة الطراز المظهرى فى الهجين الثانى Dihybrid Phenotype Ratio: لكى نعرف الاحتمالات الممكنة لاندماج أمشاج الجيل الأول (F_1) يحسن استخدام لوحة المربعات ، وهى وسيلة تخطيطية (شكل 16 ـ 4) ، شاع استعمالها من قبل للتأكد من عدم اغفال أى احتمال ممكن فى هذا الاندماج . فإذا صنعت أمشاج أحد الأجناس على الجانب الرأسى لهذه اللوحة وضعت فوقها أمشاج الجنس الآخر فى الاتجاه الافقى فإنه يمكن ملء مربعات اللوحة بالطرز الجينية للجيل الثانى (F_2) ، وذلك بادماج أمشاج أحد الأجناس على التوالى بأمشاج الجنس الآخر . وبتحليل نباتات الجيل الثانى التى امكن الحصول عليها بهذه الطريقة ، يتبين وجود أربعة طرز مظهرية . فمن بين ستة عشر نباتا يوجد تسعة منها تحمل بذورا مستديرة صفراء ، وثلاثة تحمل بذورا مستديرة



الامشجة الذكرية للجيل الاول F1	RY	Ry	rY	ry
الامشجة الانثوية للجيل الاول F1 / female gametes of F_1 — RY	RRYY round yellow	RRYy round yellow	RrYY round yellow	RrYy round yellow
Ry	RRYy round yellow	RRyy round green	RrYy round yellow	Rryy round green
rY	RrYY round yellow	RrYy round yellow	rrYY wrinkled yellow	rrYy wrinkled yellow
ry	RrYy round yellow	Rryy round green	rrYy wrinkled yellow	rryy wrinkled green

شكل (16 ـ 4) الهيجين الثنائى dihybrid الذى تم بين نبات بـازلاء بذوره مستديرة صفراء وبين اخـر بذوره خضراء مجعـدة، يظهر تنـوع الامشجة الذكرية للكروموسومات موضحة بالاسهم، ويظهـر بنفس الطريقـة التنوع من الامشجة الانثوية (مرتبا رئسيا على يسار الجدول). تؤدى كل التبـادل المكنة للانواع الاربعة من الامشجة الذكرية مع الانواع الاربعة للامشـج الانثوية الى تكون التراكيب الوراثية الظاهرية التالية:
9 ـ 3:3 ،1 وذلك فى الجيل الثـانى (F2)

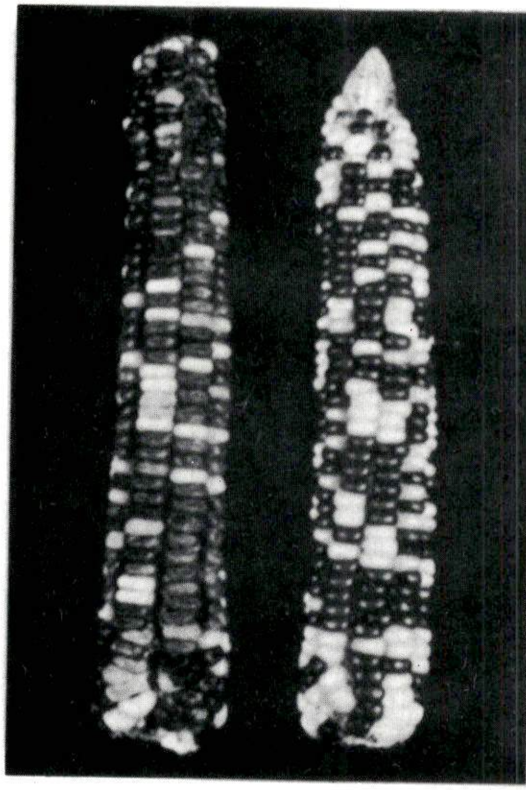
اصفـر مستديـر round yellow — اصفر مجعد wrinkled yellow
اخضر مستدير round green — اخضر مجعد wrinkled green

خضراء ، وثلاثة تحمـل بذورا مجعـدة صفراء ، ونبـات واحد فقط يحمـل بـذورا مجعـدة خضراء ، أى أن نسبـة الطـراز المظهرى فى الهجين الثانى هى 9 : 3 : 3 : 1 . ويوضح الجزء الايسر من الشكـل (16 ـ 5) مثالا آخـر للطراز المظهـرى فى الهجين الثانى . فهذا الكوز (عرنوس) لنبات الذرة الصفـراء قد نشأ أصلا من أبوين أحدهما كان يحمل حبوبا زرقاء ملساء لامتلائها بالنشاء ، أما الآخر يحمـل حبوبـا بيضاء مجعـدة .

فاذا لقح هذان الأبوان ، وأحدهما يحمل حبوبـا زرقاء ملسـاء والآخـر يحمل حبـوبا بيضـاء ، تلقيحا خلطيـا نتـج عن هـذا التلقيح نباتات الجيل الأول (F_1) التى تحمل كيزانا بها حبوب صفـراء ملساء . وإذا مـا لقحت نباتـات الجيـل الأول (F_1) تلقيحا ذاتيا ، نتج عن ذلك نباتات الجيـل الثانى (F_2) ، التى تحمل كيزانا بها حبوب نسبة الصفات فيها على وجه التقريب 9 حبوب زرقاء ملساء ، 3 حبوب زرقاء مجعدة ، 3 حبوب بيضاء ملساء ، وحبة واحدة بيضاء مجعدة .

اعـادة التـرتيب الجينى Recombination بفحص الطـرز الجينيـة المبينـة فى شكـل (16 ـ 4) ، يتبـين أن بـعض الامتـزاجات الجينيـة تشبه تلـك الموجـودة فى الأبوين ، ولكن معظمها يكون امتزاجات جـديدة تختلف عن تلـك الموجـودة فى الأبوين . ويطلق على تكـوين مثل هـذه الامتزاجـات الجديـدة اسم اعـادة التـرتيب الجينى recombination . وفى حـالـة الهجـين الثنـائى كـالمبـين فى شكـل (16 ـ 4) ، يبلـغ عـدد الامتـزاجات الجديدة سبعة . ويزيد العدد الكلى للطرز الجينية التى تجدد امتزاجها زيادة كبيرة بزيادة عدد أزواج الجينات . فمثلا إذا بلغ عدد الجينات خمسة أزواج بلغ عدد الامتزاجات الجديدة 241 وإذا بلـغ عدد الجينـات عشرة أزواج بلغ عـدد الامتزاجات الجـديدة أكثـر من 58000 . وهذه الامتـزاجات الجديدة ذات أهمية بالغة فى تربية الحيوان والنبات وكذلـك فى التغير الذى يحـدث أثناء تطـور هذه الكـائنات تحت الظـروف الطبيعية .

التلقيح الكاشف : The Test Cross من المرغوب فيـه ايجاد طريقة يختبر بها نبات تسود فيـه صفات معينـة لمعرفـة ما إذا كان هذا النبات متشابه الزيجوت أو متباينها بالنسبة للجينات التى تحدد هذه الصفات . فمثلا إذا كانت أزهار نباتات الجيل الأول كلها حمراء لانها نتجت من تزاوج نبات ذى أزهار حمراء (R) بنبات ذى ازهار بيضاء (r) ، وكانت نسبة الطراز الجينى لنباتات الجيل الثانى (F_2) هى ثلاثة للـون الأحمر إلى واحـد للـون الأبيض ، فأى من نبـاتات الجيـل الثـانى ذات الأزهـار الحمراء متباينة الزيجوت وأيها متجانسة الـزيجوت ؟ ويمكن معرفة ذلك على الأقـل فى بعض الحـالات بتلقيـح هذه النبـاتات تلقيحا ذاتيا ، ولكن ذلك متعذر تحقيقه خصوصـا من الوجهـة العملية . وبدلا من ذلك تلقح النباتات التى تظهر فيها الصفات



شكل 5/16 انعزال العوامل الجينية فى نبات الذرة segregation of genes in corn

(اليسار) الجيل الثانى الناتج عن تهجين بين النوع الازرق الاملس والابيض المجعد، تنتج اربعة اشكال ظاهرية بنسبة تساوى تقريبا 9-1.3:3.

(اليمين) نتاج تهجين ذرة متباين الزيجوت حددت جيناته اللون الغامق وذرة بيضاء متشابهة الزيجوت نتجت الحبات الزرقاء والبيضاء بنفس العدد تقريبا.

السائدة باخرى متجانسة الزيجوت فيها هذه الصفات متنحية وتعرف هذه الطريقة باسم طريقة التلقيح الكاشف . فإذا نتج عن هذا التلقيح نباتات تحمل كلها أزهارا حمراء ، فالنباتات التى ظهرت فيها الصفات السائدة هى بالطبع نباتات متشابهة الزيجوت . أما إذا لقحت النباتات التى ظهرت فيها الصفات السائدة بأخرى متباينة الزيجوت ونتج عن ذلك نباتات تحمل أزهارا حمراء وأخرى بيضاء بنسبة 1 : 1 فالنباتات التى ظهرت فيها الصفات السائدة هى نباتات متباينة الزيجوت .

والتلقيحات الكاشفة ، كالتلقيح الذى ذكر آنفا تطبق عادة عمليا فى تجارب الوراثة ، كما توضح هذه التلقيحات أيضا مبدأ انعزال الصفات ، وقد أجرى مندل مثل هذه التجارب كدليل آخر لهذا المبدأ . فإذا كانت النباتات التى تحمل أزهارا حمراء متباينة الزيجوت فان نصف أمشاجها (بعد انعزال الصفات) تحمل الجين (R) والنصف الآخر يحمل الجين (r) . ولا يوجد غير نوع واحد من الأمشاج فى أحد الأبوين المتشابه الزيجوت الذى يحمل الصفات المتنحية فبعد التلقيح الخلطى يجب أن تحمل البيضة المخصبة المتكونة ، الجينات (Rr) وكذلك (rr) بأعداد متساوية تقريبا ، وعلى ذلك يلزم ان يحمل نصف عدد النباتات أزهارا حمراء ويحمل النصف الآخر أزهار بيضاء .

ومن الامثلة الجيدة على هذه التلقيحات الكاشفة ماوجد فعلا فى التجارب التى اجريت على بعض اصناف نبات الذرة فقد لقحت نباتات تحمل حبوبا زرقاء (B) بحبوب لقاح من سلالة تحمل حبوبا بيضاء(b)، وذلك بطريقة التلقيح الكاشف. وعند تربية النسل حملت نباتاته كيزانا بها حبوب زرقاء واخرى بيضاء بنسبة 1:1 تقريبا (الجانب الايمن من الشكل (16 ـ 5) ويدل ذلك على ان الاب الذى يحمل حبوبا زرقاء كان متباين الزيجوت بالنسبة للجينات التى تحدد الحبوب الزرقاء .

ويلزم التمييز بين التلقيح الكاشف والتلقيح الرجعى backcrossing الذى سيأتى ذكره فيما بعد، ففى التلقيح الرجعى يلقح الهجين باحد الابوين او مايعادله، ويتم ذلك فى تجارب التربية بغرض زيادة مايساهم به احد الابوين فى الصفات الموروثة، وليس لهذا النوع من التلقيح اية علاقة بسيادة او تنحية اى من الجينات.

علم الوراثة منذ عهد مندل: Genetics Since Mendel

ان السنوات التى تلت عام 1900 والتى اعيد فيها اكتشاف نتائج مندل شهدت نشاطا ملحوظا، فقد حثت هذه النتائج الافا من العلماء على البحث، وفى وقت قصير نسبيا تطور علم الوراثة على اسس ثابتة، وقد تقدم هذا العلم تقدما سريعا، واعلن عن اكتشافات هامة، وقد اثبت الدارسون لعلم الوراثة صحة قوانين مندل لا على نباتات البازلاء فحسب، بل على نباتات كثيرة غيرها، كما اثبتوا صحتها على الحيوانات.فقد

درس علماء الوراثة صفات مثل اللون والتفرع وحمل الشعر وتضاعف الازهار على نباتات كثيرة مختلفة مثل عباد الشمس والقطن والقمح، والبقوليات، والمنثور الاصفر وحنك السبع والاراكيد.

ولقد وجد هؤلاء الدارسون ان مبادىء مندل لاتنطبق على اكثر المظاهر وضوحا فى النباتات فحسب بل تنطبق ايضا على اكثر الصفات الاقتصادية نفعا وفائدة فدراسة ذبابة الفاكهة fruit fly (دروسوفيلا Drosophila) التى بدأت عام 1906 قد ادت الى معلومات وفيرة للغاية. وقد بدأت الدراسات المستفيضة النافعة على نبات الذرة متأخرة بعض الشىء، واكثر مانعرفه الآن عن الوراثة فى النبات والحيوانات هى وليدة تجارب التربية على حشرة الدروسوفيلا ونبات الذرة، وفى غضون السنوات الحديثة زادت هذه المعرفة بالدراسات المستفيضة التى اجريت على البكتريا والفيروسات.

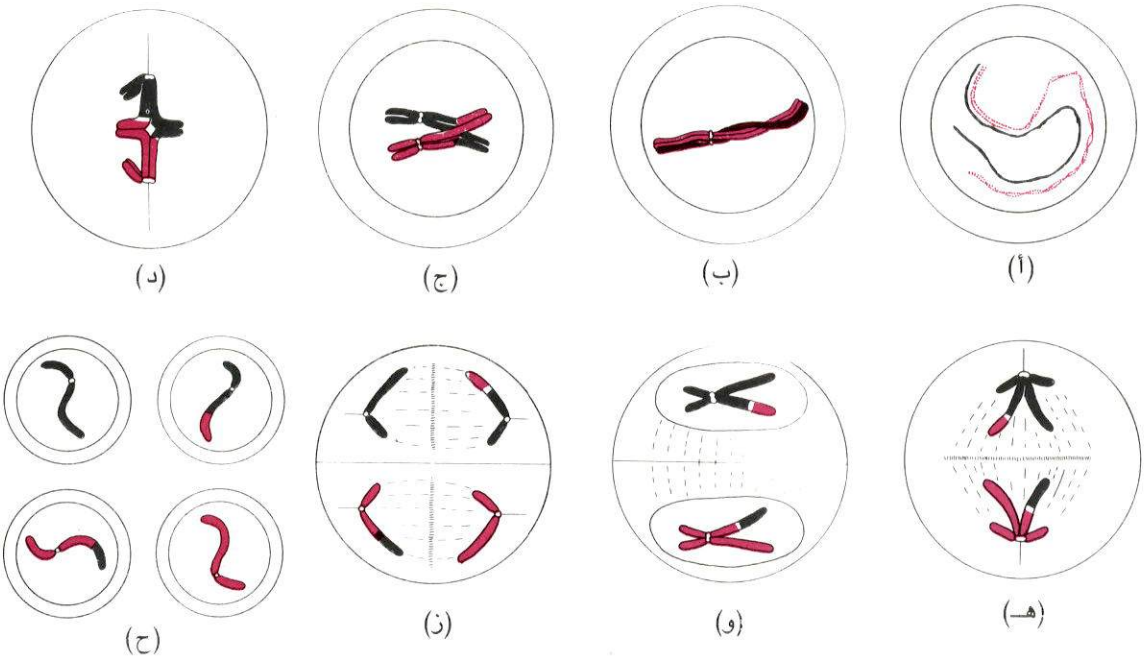
الا ان الوراثة التجريبية experimental genetics سرعان ماأظهرت ان مبادىء مندل ليست من العمق بحيث يمكن بها تفسير بعض النتائج فظهر عديد من الاستثناءات التى لاتنطبق عليها النسب المندلية العادية، وعلى الرغم من صحة الاسس التى بنى عليها قانونا الانعزال والتوزيع المستقل، الا ان الرأى القائل بان كل صفة هى من عمل جين واحد قد عدل، فبالرغم من ان كل جين يورث مستقلا عن الاخر الا ان اثر كل منها لايظهر بالضرورة بصفة مستقلة فقد تنجم صفة معينة من عدة جينات تعمل او تتعاون معا وعادة اذا ماتحددت صفة ما بفعل عدة جينات، فان هذه الصفة لاتظهر عند غياب احد هذه الجينات، اما غيرها من الصفات، خصوصا الصفات الكمية مثل الصفات التى تتضمن النمو والحجم فانها تسلك طريقا وسطا وتتأثر هذه الصفات الاخيرة بعدد من الجينات كل منها يساهم بنصيب معين، ولكنها تعمل كلها معا فيتراكم اثرها جميعا فيظهر على الطراز المظهرى وقد اطلق على هذا النمط من الوراثة اسم الوراثة المتعددة الجينات Multiple – Gene او الوراثة الكمية quantitative Inheritance.

السيادة الناقصة: Incomplete Dominance

لقد ادخلت تعديلات على المبدأ الاصلى للسيادة ايضا، اذ كان يظن فى الماضى أن السيادة ماهى الا ستر كامل اواختفاء اثر احد الجينات بفعل جين اخر. اما الآن فقد تبين ان هذا النمط من السيادة ليس مظهرا اساسيا من مظاهر الوراثة المندلية. فقد تتنوع السيادة فتظهر بجميع درجاتها فكثير من الصفات لها سيادة جزئية او مايطلق عليه اسم السيادة الناقصة، ومنها ماله سيادة يمكن اعتبارها وسطا بين الابوين ومن الامثلة التقليدية لهذه السيادة الناقصة ماأظهرته دراسة مبكرة على تربية نبات شب الليل four – o clock's فتلقيح نبات يحمل ازهارا قرمزية بنبات اخر يحمل ازهارا بيضاء ينتج نباتات الجيل الاول (F_1) تحمل ازهارا وردية حمراء وبتلقيح نباتات الجيل الاول تلقيحا ذاتيا، فان نباتات الجيل الثانى (F_2) تحمل ازهارا قرمزية ووردية حمراء وبيضاء بنسبة 1:2:1. والتلقيح الذاتى لهذه النباتات يبين ان النباتات التى تحمل ازهارا قرمزية او التى تحمل ازهارا بيضاء هى من النباتات الاصلية بالنسبة لهاتين الصفتين، اما النباتات التى تحمل ازهارا وردية حمراء فان هذه الصفة تتوزع ايضا بنسبة 1:2:1 ولقد عرفت امثلة اخرى للسيادة الناقصة، ولكن معظم الحالات التى يكون فيها النسل وسطا بين الابوين هى حالات ناتجة عن جينات متعددة، وقد يصعب عمليا التمييز بين السيادة الناقصة وبين الوراثة المتعددة الجينات، وغالبا مايتطلب ذلك دراسات تفصيلية للتعرف على مبدأ الفصل بينهما.

الارتباط Linkage تتوقف النسب المندلية على الانعزال المستقل للجينات فى عملية الانقسام الاختزالى، ولايحدث مثل هذا الانعزال الا اذا حملت الجينات على كروموسومات مختلفة فقد تحوى كروموسومات النباتات والحيوانات العديد من الجينات وربما الافا عديدة منها، ولما كان عدد الكروموسومات محدودا كان من الضرورى ان يحمل كل كروموسوم عددا كبيرا من الجينات، فاذا حمل جينان على نفس الكروموسوم فان هذين الجينين ينتقلان معا الى النسل، وعلى ذلك لايحدث هذا الانعزال المستقل وتوصف الجينات التى تحمل على نفس الكروموسوم وتورث معا بانها جينات مرتبطة linked genes.

ولتوضيح مبدأ الارتباط سنفحص تزاوج نباتين احدهما له طراز جينى هو (AABB) والاخر (aabb) فالطراز الجينى لنباتات الجيل الاول تصبح (AaBb) فاذا حدث الانعزال المستقل فان الامشاج تصبح (Ab)، (AB)، (aB) وكذلك



شكل (16ـ6) رسم تخطيطي يوضح العبور (تقاطع الكروموسومات) crossing - over (أ ـ و). أ، ب، ج الطور التمهيدي (أ) بداية الازدواج (التقاطع) (ب) تلتف الكروموسومات المتزاوجة حول بعضها البعض (ج) تم العبور بين كروماتيدين غير شقيقين ويعني ذلك انهما قد تبادلا بعض اجزائهما. (د) الطور الوسطي (هـ) الانفصالي (و) النهائي المرحلة الثانية (ز) الانفصالي (ح) اربع سبورات صغيرة تحوي اثنتان منها كروماتيدات عابرة.

(ab) وتتكون باعداد متساوية، اذا حملت الصفتان السائدتان على كروموسوم والصفتان المتنحيتان على كروموسوم مماثل للاول فانه لايتكون غير نوعين فقط من الجينات هي (AB)(ab)، وبدلا من النسبة المتوقعة للهجين الثنائي وهي 9:3:3:1 في نباتات الجين الثاني (F_2) فان النسبة 3:1 هي التي تتكون، حيث ان الجينين يورثان كما لو كان جينا واحد ويطلق على الجينات التي تورث معا اسم المجموعة المرتبطة linkage group وبدراسة نبات الذرة عرف ان به حوالي 360 مجموعة من الصفات المتقابلة وتقع هذه الصفات في عشر مجاميع تمثل عشرة ازواج من الكروموسومات.

عملية العبور: Crossing Over الجينات التي ترتبط اصلا بنفس الكروموسوم لاتستمر دائمًا مرتبطة به . فالارتباط الكامل الذي لاتحتوي الامشاج فيه الا على جينات من احد كروموسومي زوج منها يعتبر غير شائع، فقد تتبادل الجينات التي تحمل على احد الكروموسومات مع جينات مناظرة لها تحمل على كروموسوم مماثل للكروموسوم الاول، ويطلق على هذه العملية اسم العبور crossing over وتحدث في طور مبكر من المرحلة الاولى لعملية الانقسام الاختزالي.

ولسهولة التوضيح يبين الشكل (16 ـ 6) عملية الانقسام الاختزالي في خلية امية سبورية لاتحتوي الا على زوج من الكروموسومات المتماثلة. ففي الشكل (16 ـ 6أ، ب) تقترن الكروموسومات التي تتكون كل منها من كروماتيدين، واثناء عملية الاقتران يلتوي كل كروموسوم حول الاخر حينئذ ينفصل زوج من الكروماتيدات غير البنوية عند نقطتين متناظرتين على الكروموسومين المتماثلين. بعدها تلتحم الاطراف المفصولة بترتيب وتنسيق جديد لتكون الكروماتيدات

(شكل 16 ـ 6ج) ويلزم التنويه ايضا بان هذا التبادل بين الاجزاء يحدث فى كروماتيدات غير بنوية، اى ينتمى كل منها الىكروموسوم من الكروموسومات المتماثلة، وفى نهاية الطور الاولى تنفصل الكروموسومات المتماثلة ، ويبدأ هذا الانفصال فى منطقة السنترومـيرات ولكن نتيجة للعبور لا تنفصل الكروموسومات المتماثلة تماما عن بعضها فالتصاق الكروماتيدات يربط الكروموسومين ببعضهما كوحدة وعلى ذلك ففى الطور الاستوائى (شكل 16 ـ 6 د) بالرغم من ان السنترومبرات تتنافر فيما بينها فان الكروموسومات المتماثلة تظل متحدة بأذارعها الطويلة نتيجة للعبور . وفى الطور الاستوائى (شكل 16 ـ 6 هـ) تنفصل الكروموسومات التى تكون بعد ذلك نويات الطور النهائى (شكل 16 ـ 6 و).

وفى المرحلة الثانية من الانقسام الاختزالى تنفصل افراد كل زوج من ازواج الكروماتيدات البنوية عن بعضها، ويتجه كل كروماتيد ناحية القطب المقابل للنواة البنوية (شكل 16 ـ 6 ز) وينتج عن ذلك اربع انوية كل منها يحتوى على كروموسوم واحد (شكل 16 ـ 6 ح) وعلى ذلك فنتيجة عملية العبور هى تبادل المواد الوراثية بين كروماتيدين من الكروموسومات المتماثلة فالجينات التى كانت تصاحب من قبل احد افراد زوج من الكروموسومات تتبادل مع فرد اخر من هذا الزوج، وقد يلاحظ انه كلما تباعدت المسافة بين جينين يحتلان مكانين مختلفين على كروموسوم ما، كلما زاد احتمال انفصالهما بعملية العبور.

ولتوضيح عملية العبور نفرض مثالا نظريا فيه يحمل احد افراد زوج من الكروموسومات المتماثلة الجين (A) الذى يحدد صفة مقاومة النبات للمرض . ولنفرض ايضا ان هذا الفرد يحمل فى موضع آخر منه الجين (B) الذى يسبب صفة النضج المتأخر . اما الصفتان المتفارقتان وهما صفة قابلية النبات للاصابة بالمرض (a) وصفة النضج المبكر (b) فتحتلان موضعين مناظرين على الفرد الآخر من زوج الكروموسومات المتماثلة . فاذا ظل الجين (A) والجين (B) معا ، وظل الجين (a) والجين (b) معا ايضا بالنسبة لكل كروموسوم منهما فان النبات الذى يقاوم المرض ينضج متأخرا، والنبات القابل للاصابة بالمرض ينضج مبكرا . اما اذا حدثت عملية العبور فان جزء الكروماتيد والذى يحمل الجين (A) يتصل بجزء الكروماتيد الذى يحمل الجين (b) ونتيجة لذلك تحمل الجينات (Ab) على احد الكروماتيدين وتحمل الجينات (aB) على الكروماتيد الآخر ويصبح فى الامكان الحصول على نبات يمتاز بمقاومته للمرض علاوة على تميزه بالنضج المبكر ايضا .

الوراثة السيتوبلازمية : Cytoplasmic Inheritance

بالاضافة الى الوراثة المندلية للجينات التى تحمل على كروموسومات معينة ، عرفت بضع حالات ، عددها فى زيادة مطردة يتم بها وراثة صفات معينة عن طريق الام فقط ، وتظل هذه الصفات مستقلة تقريبا عن البلازما الجرثومية germ plasm التى يسهم بها السبروم المذكر . فمثلا فى اصناف معينة من نبات شب الليل four - O'clock قد يحمل احد الفروع اوراقا خضراء عادية ، وقد يحمل آخر أوراقا خضراء باهتة او بيضاء تقريباً ، وقد يحمل ثالث اورقاً مبرقشة وسطاً بين اللونين السابقين . والبذور من الازهار ألتى تحل على نباتات ذات اوراق خضراء او باهتة تنتج نباتات لا تحمل الا اوراقا خضراء او باهتة ، بصرف النظر عن طراز حبوب اللقاح التى لقحت بها هذه الازهار . والبذور من الفروع التى تحمل اوراقا مبرقشة تنتج اوراقا خضراء او باهتة او مبرقشة ، وتستمر هذه فى الظهور عن طريق كل البذور التى تنتجها نباتات الاجيال التالية .

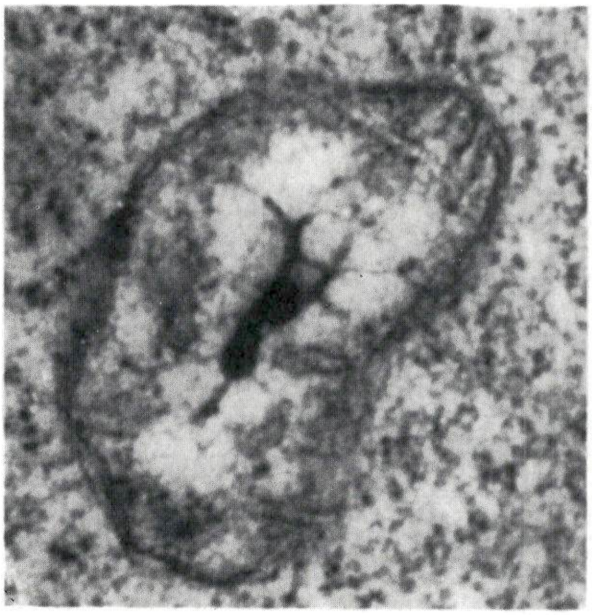
ويعزى هذا الطراز من الوراثة السيتوبلازمية الى البلاستيدات الاولية Proplastids (الفصل الثالث) وانتقالها الى سيتوبلازم خلية البيضة . وعند نمو النبات تنقسم هذه البلاستيدات الاولية حيث تكون البلاستيدات . وبداخل هذه البلاستيدات توجد العوامل التى تحدد تكوين الكلوروفيل وبالتالى تحدد لون الورقة . فالبلاستيدات الاولية قد تكون من الطراز العادى او من الطراز الباهت او من كليهما مجتمعتين . وحيث ان البلاستيدات الاولية تعتبر جزءا من السيتوبلازم وتحمل صفات وراثية ، لذلك يطلق على هذا الطراز من الوراثة اسم الوراثة السيتوبلازمية Cytoplas-mic inheritance .

ومن الطرز المهمة للوراثة السيتوبلازمية ما يعرف باسم عقم الذكر male sterility اى عجز عدد من النباتات مثل

الجينات والبيئة : Genes and Environment

حجم النبات وشكله وترتيب اجزائه وتركيبه الداخلى ومعدل نموه الخضرى هى كلها صفات للنبات من بين عديد منها وتهيمن الجينات او بمعنى اجمالى يهيمن التركيب الوراثى على نمو النبات وشكله الظاهرى وسلوكه بما يصدره من تعليمات فى هذا الصدد . ومع ذلك فالجينات لا تعمل منفردة ابدا ، ولكنها تعمل دائما فى وسط داخلى تختلف طبيعته غالبا باختلاف البيئة الخارجية . فالتركيب الوراثى (فيما عدا الطفرات) ، يظل كما هو اما مايبدو منه فيختلف باختلاف البيئات التى بها يتحور الشكل الظاهرى والعوامل الخارجية البيئية التى تؤثر على ما يبدو من الجينات ، من مظاهر تشمل قوة الاضاءة وصفتها وامدها ، كما تشمل درجة الحرارة وامداد النبات بما يلزمه من املاح معدنية ، وكذلك رطوبة الهواء الجوى والتربة . وقد تظل بعض الصفات دون تغيير بالرغم من اتساع مدى البيئات التى تؤثر فيها . ومن بين هذه الصفات تركيب الزهرة وبعض المظاهر الخارجية مثل وجود النقر على الجدران الجانبية لعناصر الاوعية الخشبية . اما الصفات الاخرى مثل طول النبات ووقت الازهار وحجم الثمرة فقد تتغير كثيرا تبعا للاختلافات التى تحدث فى البيئة . ومن الوجهة الوراثية البحتة تعبر الصفات تعبيرا عن التركيب الوراثى فى بيئة معينة . او بمعنى آخر يورث التركيب الوراثى ولا يورث الشكل الظاهرى . وعلى ذلك فطبيعة اى كائن حى تتوقف على الجينات التى يرثها ، كما تتوقف ايضا على البيئة التى تعيش فيها . وقد سبق ذكر الآليات التى تنظم عمل هذه الجينات فى (الفصل 14) تحت عنوان "التمايز والنشاط الجينى differentiaton and gene activity .

وتوضح الامثلة الآتية اثر البيئة عل ما يبدو من مظاهر لهذه الجينات . ففى بعض اصناف الذرة الحلوة يحدد احد الجينات تكوين صبغة الانثوسيانين الحمراء فى اى جزء من هذا النبات بشرط ان يتعرض هذا الجزء للضوء . فاجزاء الساق التى تغطى بقواعد الاوراق ، وكذلك العصيفات الداخلية للكوز لا تحتوى على هذا اللون الاحمر ، لذلك يطلق على هذا اللون اسم «احمر الشمس» واذا استبعدنا ضوء الشمس بتغطية الكوز النامى بقلنسوة سوداء تظل



شكل (16 ـ 7) ميتكونـدريا فطـر الحقول Agaricus) field mushroom campestris)
المساحة الداكنة الوسطية تمثل الـ DNA

الذرة والبصل onion وبنجر السكر sugar beet والذرة البيضاء sorghum وقصب السكر sugar cane والكتان flax والبيتونيا Petunia عن انتاج حبوب اللقاح . وسنشرح فى هذا الفصل فيما بعد استخدام ظاهرة عقم الذكر لانتاج هجين لنبات الذرة ، وينتقل عامل هذا العقم الى سيتوبلازم خلية البيضة ، وعلى ذلك فكل الحبوب التى ينتجها نبات عقم الذكر تحمل هذا العامل ولا تنتج الا نسلا عقيم الذكر بصرف النظر عن طرز حبوب اللقاح لاحد الابوين .

ويظن ان الوراثة السيتوبلازمية تعزى الى جزيئات الـ DNA كتلك التى تحملها الكروموسومات . فهذه المادة الخاصة بالوراثة توجد ايضا فى البلاستيدات وكذلك الميتوكندريات . ويبين الشكل (16ـ7) وجود DNA بعد تلوينه فى احد الميتوكوندريات لنبات عيش الغراب Mushroom ويمكن اعتبار الـDNA مسئولا عن الوراثة السيتوبلازمية فى ظاهرة عقم الذكر . وبالرغم من ان الوراثة السيتوبلازمية موجبة الاهتمام واحياناً ذات قيمة الا انها لا تشكل الا جزءا يسيرا من الوراثة الكلية فى النباتات .

العصيفات الخارجية له خضراء بالرغم من ان هذه الانسجة لم تزل تحتوى على جينات «احمر شمس» . ولقد عرف عدد من الامثلة لدرجة الحرارة وما تحدثه من تحورات على الشكل الظاهرى للنبات . ففى طفرات معينة من نبات الذرة يلزم ارتفاع درجة الحرارة لكى يظهر اثر الشكل الظاهرى للطفرة . فالبادرات والنباتات المسنة تظهر بلون اخضر باهت عندما تبلغ درجة الحرارة 37م° (98,6ف°). اما اذا نمت النباتات فى درجة حرارة تبلغ 20م° (68ف°). فلون الطفرة يقترب من اللون الاخضر العادى .

ويلزم التأكيد ايضا على ان ما تحدثه البيئة من تغيرات وتحورات فى المظهر الخارجى لا يورث . والتغيرات التى تورث هى التغيرات الوحيدة الفعالة فى عمليات التطور او فى تربية النباتات .

تحسين النباتات : Plant Improvement

الانتخاب . Selection

يعمل الانسان الحديث دائما على تحسين النباتات والحيوانات المستأنسة . وافضل الطرق المعروفة لتحسين النباتات والتى مارسها الانسان منذ قرون هى طريقة الانتخاب . ولتباين النباتات فقد امكن للانسان ان ينتخب النباتات التى تخدم متطلباته بطريقة افضل ويعمل على الاكثار منها سواء بالبذور او بطرق التكاثر الخضرى . فتدخر بذور افضل النباتات كل عام لزراعتها فى الموسم الذى يليه . وتتكرر العملية فى الموسم التالى فيتم انتخاب افضل النباتات لاستكثارها مرة اخرى .

الا ان طريقة الانتخاب لا تستغل الا فى نطاق ضيق فالاسس التى يقوم عليها الانتخاب ليست واضحة دائما ، حيث ان هذا الانتخاب لايتم الا بين الطرز المظهرية للنباتات فقط . فالمشتغلون الاوائل بتربية النباتات كانوا لا يميزون بين العوامل الوراثية والبيئية التى تنتج نباتات جيدة ، ولذلك وقعوا فى عدة اخطاء . وبالرغم من ذلك فقد استغلت طريقة الانتخاب واستمرت من جيل الى جيل ، وامكن بها استثمار اصناف نافعة من الحبوب وبنجر السكر والكتان والقطن وغيرها من النباتات التى تزرع . وبالرغم من ان هذه الطريقة لتحسين النباتات مازالت تمارس حتى الآن ، الا انه قد اضيف اليها فى الوقت الحاضر طريقة اخرى هى طريقة التهجين .

التهجين : Hybridization

عن طريق التهجين يمكن الجمع بين افضل الجينات فى فردين او اكثر او فى عدة اصناف او حتى فى عدة انواع . فيمكن اجراء عملية التزاوج بين نباتات منتخبة تختلف فى جين واحد او اكثر (شكل : 16ـ8)، ثم يترك النسل لينمو ويكون عدة اجيال . ففى هذه الاثناء ونتيجة لخاصيتى التوزيع الحر والعبور فى الكروموسومات ، يتم فى الجينات توزيع جديد . وفى النهاية تنتخب الاشكال المطلوبة من الطراز المظهرى او الجينى لاستكثارها على نطاق تجارى .

وعمليا التهجين والانتخاب لا تخلق جينات جديدة ولكنها تيسر افضل تجمع للجينات الموجودة اصلا فى الابوين الرئيسيين . ويبلغ مفعول الانتخاب حده الاقصى بعد عدة عمليات منها ، ولدفعها إلى الامام مرة اخرى يلزم الحصول على نباتات جديدة ذات صلة وثيقة بالابوين تنمو فى اجزاء اخرى من الكرة الارضية وتحمل جينات جديدة ومختلفة . فلتحسين القمح وغيره من المحاصيل جاب النبـــاتيون فى قســـم الزراعة بالولايات المتحدة العالم للبحث عن اصناف تلائم هذه البلاد او يمكن تهجينها بالمحصول الموجود اصلا فى الولايات ، وذلك بغرض تحسينه فى اتجاهات معينة . ومن امثلة هذه المحاولات التى تطلبت جهدا مستمرا ماقام به مارك كارلتون ، ففى عام 1900 ادخل من روسيا عدة اصناف وسلالات نافعة من القمح الشتوى الصلد الاحمر . والاصناف العديدة الموجودة الآن من هذا الطراز من القمح هى وليدة ماادخل منها منذ ذلك التاريخ وتزرع هذه الاصناف الآن على نطاق واسع فى مناطق السهول العظمى واماكن اخرى .

ومن المرغوب فيه غالبا ضم صفة واحدة او بضع صفات جيدة الى صنف قد تم تحسينه بدرجة كبيرة . ويتم ادخال



شكل (16 ـ 8) التهجين hybridization، توضع حبوب اللقاح من اسدية زهرة مافوق مدقة زهرة اخرى تعتبر هذه اولى خطوات التهجين.

مثل هذه الجينات الجديدة بعملية التلقيح الرجعى Backcrossing وهى تزاوج الهجين بأحد الابوين او اى نبات آخر يعادله ورثيا . ويفيد التلقيح الرجعى كثيرا خصوصا فى انتاج اصناف جديدة من النباتات المنزرعة المقاومة للامراض ، وهو جزء هام من عمل المشتغلين بتربية النباتات . وقد بدأ العمل فى هذا المجال بانتخاب اصناف طبيعية مقاومة للامراض ثم الاكثار منها ، اما الآن فإنه يمكن الحصول على النباتات المقاومة للامراض بتلقيح نباتات مقاومة للامراض ، ولكن يعوزها الصفات النافعة الاخرى ، بنباتات اخرى قابلة للاصابة بالامراض ولكنها تمتاز بهذه الصفات النافعة . وبتكرار عملية التهجين الرجعى للنباتات القابلة للاصابة بالامراض مع عملية انتخاب للنباتات المقاومة للامراض يمكن الحصول على نباتات جديدة بها اكثر الصفات المرغوب فيها من كلا الابوين الاصليين .

التهجين فى الذرة : Hybridization in Corn

تعتبر الذرة من المحاصيل التى اسفر مابذل فيها من جهد لتحسين صفاتها وانتاجها عن نجاح ملحوظ . ومن اوائل العمليات وهى بلا شك العملية التى استخدمت بعد معرفة زراعة الذرة هى الانتخاب بالجملة . ففى الحقل يتم انتخاب كيزان الذرة من نباتات كبيرة قوية تحمل كيزانا جيدة التكوين ، ثم تخلط حبوبها وتزرع فى الموسم التالى . وهذه العملية اذا مااستمرت تعمل على تحسين الذرة الى حد ما ، الا انه بعد مدة يثبت المحصول ولا يزيد الا زيادة طفيفة ، ويرجع ذلك الى حد كبير الى طبيعة نبات الذرة ، فهذا النبات احادى السكن وتبلغ نسبة التلقيح الخلطى به 99 فى المائة . ونتيجة لاستمرار التلقيح الخلطى به فان معظم اصنافه هى من الاصناف المتباينة الزيجوت بالنسبة لمعظم الجينات



(شكل (16 ـ 9) نقص فى حيوية نبات الذرة، واثر ذلك فى الاجيال المتعـاقبة الناتجة عن التلقيح الذاتى.

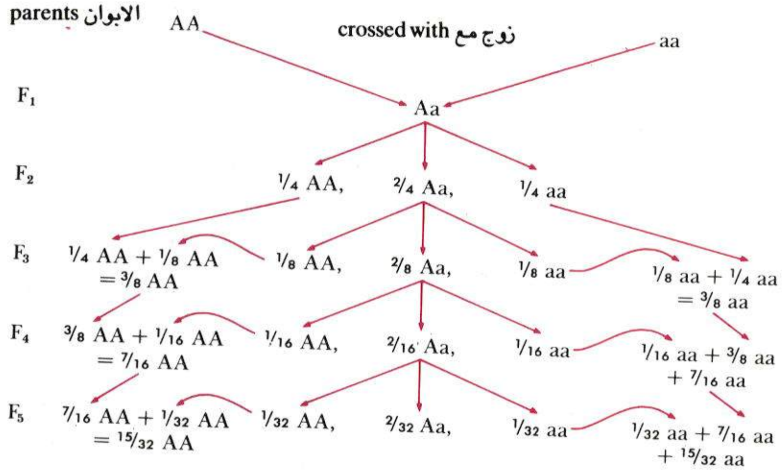
ويؤدى انتخاب كيزان الذرة بالجملة الى اجيال من النباتات تختلف فيما بينها اختلافا كبيرا . فبسبب انعزال الجينات وتجديد توزيعها تحمل الامشاج من هذه الجينات ماهو مرغوب فيه كما تحمل منها ما هو غير مرغوب فيه . والواقع انه توجد نسبة من النسل متشابهة الزيجوت ويقل محصول مثل هذه النباتات عن محصول الابوين وهما متباينا الزيجوت .

والمشتغلون بتربية نبات الذرة لم يكتفوا بعملية الانتخاب بالجملة . ففى عام 1896 تبنوا عملية زراعة الكيزان فى خطوط ، وفى هذه العملية يتم انتخاب الكيزان ايضا فى الحقل . ثم يزرع جزء من حبوب كل كوز فى صف واحد . ولتقدير قدرة كل كوز على الانتاج تحصد الخطوط المختلفة كل على حدة . وفى العام الذى يليه تزرع حبوب من الكيزان التى اثبتت التجربة انها اعطت اعلى محصول . ولم تؤد هذه العملية الى نتائج مشجعة بالرغم من استمرارها عدة سنوات . فالاصناف التى امكن الحصول عليها بهذه الطريقة ليست اكثر انتاجا بدرجة ملموسة من افضل السلالات التى تم انتخابها بالجملة . وقد يقل ماتنتجه فعلا فى بعض الحالات . واهم سبب لعدم كفاية هذه الطريقة هو ميل جميع الكيزان المنتخبة الى تشكيل طراز واحد منها . وبالاستمرار فى عملية انتخاب الكيزان الواحد تلو الاخر تتشابه النباتات وراثيا اكثر فاكثر . وعلى ذلك يصير التلقيح فى هذه النباتات المنتخبة معادلا بالتقريب الى التلقيح الذتى او التلقيح الفطرى Self – Pollination وغالبا مايضر هذا النوع من التلقيح بالمحصول خصوصاً فى النباتات التى تلقح تلقيحا خلطيا بالوسائل الطبيعية . وسنوضح اسس ذلك فيما بعد من هذا الفصل .

والطرق الحديثة لتحسين الذرة ، تشمل التحكم فى تهجين سلالات نقية منتخبة . و التلقيح الذاتى على مدى خمس سنوات او اكثر هو الوسيلة للحصول على هذه السلالات النقية . وللحصول على نباتات من الذرة ملقحة تلقيحا ذاتيا تجمع حبوب اللقاح من نبات ثم تذرى على شواشى نفس النبات . ولمنع التلقيح الخلطى تغطى الشواشى قبل نقل حبوب اللقاح اليها ثم تغطى ثانية بعد التلقيح حتى يتم النضج . والسلالات النقية التى نحصل عليها بالتلقيح الذاتى تنحدر فى حجمها وقوتها خصوصا فى الاجيال الاولى (شكل 16ـ9) . فعدد كبير من النسل لايستمر فى تكوين اجيال جديدة وذلك بسبب ضعفه الشديد او بسبب عقمه . وفيما يلى المبادىء الهامة التى تؤدى الى هذا الانحدار فى الصفات .

1ـ تختزن الكائنات المتباينة الزيجوت Heterozygous عددا كبيرا من الجينات المتنحية التى تختفى وراء متفارقاتها السائدة . فإذا حدث ان وجد جين ضار من الجينات السائدة ، تم استبعاد هذا الجين بسرعة بعملية الانتخاب الطبيعى (الفصل ـ17) . اما اذا وجد جين ضار فى الجينات المتنحية فإنه يظل كما هو الى اجل غير مسمى بسبب تغطيته وحمايته بالصفات السائدة التى توجد فى متباينات الزيجوت وعلى ذلك فمعظم الجينات الضارة فى مجموعة الافراد التى تلقح نفسها بنفسها هى من الجينات المتنحية .

2ـ فى اى نبات من النباتات التى يتم فيها التلقيح فى الطبيعة بعملية التلقيح الخلطى (كنبات الذرة مثلا) اذا مالقح هذا النبات نفسه بنفسه لعدة اجيال ، ازداد عدد



شكل (16 ـ 10) رسم تخطيطى مبسط يوضح كيف ينتج تماثل الـزيجوت عن مواصلة التلقيح الذاتى .

الزيجوتات المتشابهة بينما يقل عدد الزيجوتات المتباينة . فيمكن الحصول على لاقحات تكاد تتشابه كلها بعد ثمانية او عشرة اجيال . والشكل (16ـ10) يوضح هذا المبدأ بشكل مبسط . ويبين الشكل مايحدث عقب عملية التلقيح الذاتى فى كائن متباين الزيجوت بالنسبة لزوج واحد من الصفات المتفارقة . فالجيل الاول F_1 يمثل نبات ذرة متباين الزيجوت والجيل الثانى F_2، يمثل نباتاً لقح ذاتيا . وفى هذا الجيل يبلغ عدد متباينات الزيجوت 50 فى المائة من النسل ككل ، وفى الجيل الثالث F_3 يبلغ عدد متباينات الزيجوت 25 فى المائة اما متشابهات الزيجوت Homozygus فتبلغ 75 فى المائة . وفى الجيل الرابع 12.5 فى المائة متباينات الزيجوت و 87.5 فى المائة متشابهات الزيجوت بالنسبة لاحدى الصفات المتفارقة . وفى الجيل الخامس F_5، يبلغ عدد متشابهات التلقيح 94 فى المائة واذا ما استمر التلقيح الذاتى جيلا اخر فان متشابهات التلقيح فى الجيل السادس تبلغ 97 فى المائة .

يتضح من ذلك ان سبب ضعف النباتات التى تلقح نفسها بنفسها هو زيادة عدد مابها من الزيجوتات المتشابهة ، وبالتالى زيادة عدد الجينات المتنحية الضارة . وكان مفعول هذه الجينات يختفى من قبل وراء متفارقاتها ؛ اما الآن ، وقد تمكنت هذه الجينات من التعبير عن نفسها ، فالنتيجة هى انحدار فى قوة النسل . وبعد حوالى ستة اجيال من التلقيح الذاتى تصبح اغلب نباتاتها من متباينات الزيجوت ، بحيث لايبدو عليها اى انحدار آخر فى صفاتها (شكل 16ـ9) وبعملية الانتخاب اثناء فترة التلقيح الذاتى ، يمكن استبعاد النباتات التى تحمل صفات غير مرغوب فيها . وفى النهاية يمكن الحصول على سلالات نقية وعلى درجة كبيرة من التنسيق ، بالرغم من اختلاف السلالات المتباينة فيما بينها .

وفى نهاية فترة التلقيح الذاتى يتم التلقيح الخلطى بين سلالاتين نقيتين وتباع حبوب الهجين الناتج للزراع او لاصحاب الحدائق . فحبوب مثل هذا الهجين تنمو نباتاتها بدرجة اطول واقوى وتحمل كيزانا اكبر من النباتات الابوية للسلالتين النقيتين (شكل 16ـ11). وفضلا عن ذلك فان محصول هذا الهجين يزيد عن محصول السلالتين النقيتين كما يزيد عادة عن محصول الاصناف التى اشتقت منها هاتان السلالتان . فقد تبلغ الزيادة فى محصول بعض الهجائن 35 فى المائة من محصول النباتات التى تلقح تلقيحا خلطيا بالوسائل الطبيعية . والتى منها تم تكوين السلالتين النقيتين . ومن بين المزايا الرئيسية التى تتمتع بها افضل الهجائن هى امكانية زراعتها باعداد كبيرة تبلغ كثافتها مرتين

وبالرغم من ان بعض افراد من الاصناف النمطية تنتج كيزانا كبيرة ، الا ان حجمها يفوق متوسط حجم الكيزان جميعا ، اما كيزان الهجائن فكلها كبيرة نوعا ما ، فضلا عن انتظام شكلها . ويعتبر انتظام شكل الكيزان من الصفات الهامة خصوصا فى الذرة الحلوة التجارية ، حيث تنضج جميع الكيزان فى وقت واحد فيسهل جنى الحقل كله مرة واحدة .

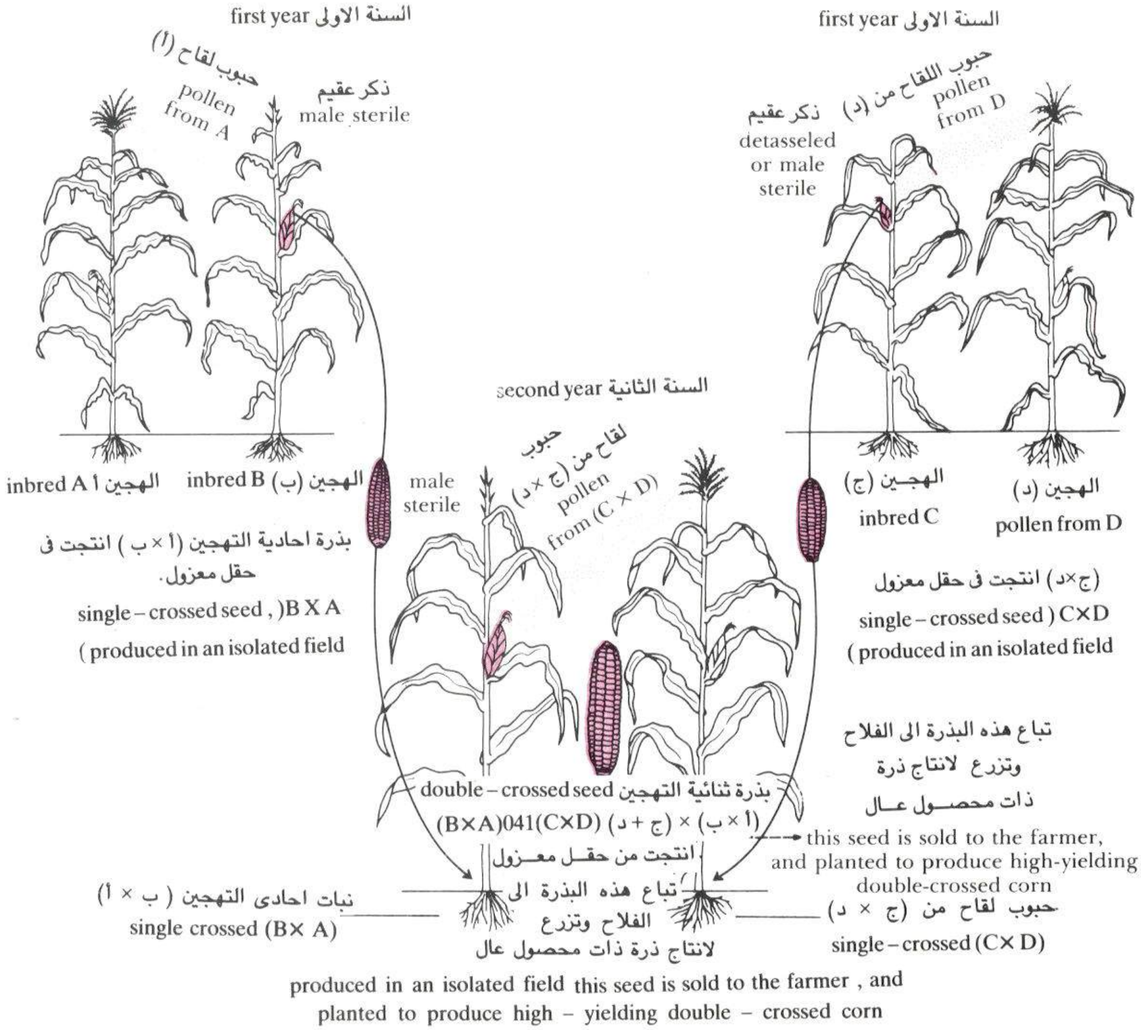
ويعتبر انتاج هجين الذرة من الامور التى تستحق الاهتمام كثيرا. وقد استعملت عدة طرق لذلك. ففى الطريقة المعروفة باسم التزاوج الفردى تزرع السلالات النقية معا عادة بنسبة صفين من النبات الام الى صف واحد من النبات الاب. ولضمان حدوث التلقيح الخلطى تنزع النورات المذكرة من النبات الام قبل انتشار حبوب اللقاح، او بدلا من ذلك تزرع سلالة من نبات الام تحمل حبوب لقاح عقيمة، وفى هذه الحالة لايحمل النبات الام الا حبوبا مهجنة وبالرغم من ان لطريقة التزاوج الفردى بعض المساوىء مثل قلة انتاج حبوب اللقاح وكذلك الحبوب، وبالتالى ارتفاع التكلفة، الا انها تنتج نباتات متناسقة بدرجة كبيرة وتستغل هذه الطريقة على نطاق واسع فى انتاج هجن الذرة، السكرية أما هجين الذرة الحقلية فتربى غالبا من حبوب يتم انتاجها بطريقة تعرف باسم التلقيح المزدوج double cross (شكل (16 ـ 12).

وتشمل هذه الطريقة استعمال اربع سلالات نقية منتخبة ويرمز لها بالحرف أ، ب ، ج ، د وتلقح السلالة ب بالسلالة أ وكذلك ج بالسلالة د . وفى السنة التالية تزرع الحبوب الناتجة من التلقيحين الفرديين ب × أ، ج×د كل منهما فى سلخ من الارض بالتبادل ، وغالبا مايحتوى كل سلخ اما على ستة صفوف من النبات الام او على صفين من النبات الاب، وكان المتبع فى الماضى ان تنزع باليد النورات المذكرة من الهجين ب × أ حتى يتم تلقيحه بالهجين ج × د وماتزال هذه الطريقة تستعمل خصوصا فى المساحات الصغيرة من الحقول عند الحصول على الهجين ج × د اما الان وللحصول على محصول على نطاق تجارى تستخدم خاصية العقم الذكرى لمنع التلقيح الذاتى فى الهجين ب × أ فيلقح تلقيحا خلطيا بالهجين ج × د. وبطريقة التلقيح المزدوج يمكن الجمع بين



شكل (16 ـ 11) هجين حيوى يظهر نبات الذرة الهجين فى الوسط بين ابويه.

او ثلاثة او حتى اربعة قدر كثافة السلالات القديمة ، دون ان تفقد قدرتها على انتاج الحبوب . فبدلا من 7000 او 8000 نبات فى الفدان يستعمل الزراع الان 20.000 الى 30.000 نبات فى الاراضى الجيدة مع التسميد الوافر . وقد يتميز الهجين بالاضافة الى المحصول الجيد . بصفات اخرى مرغوب فيها مثل متانة المجموع الجذرى ومقاومة الجفاف والامراض والحشرات وتلف العواصف وغالبا ماتندمج كل هذه الصفات فى سلالة واحدة . وبالنسبة للمحصول يلزم التأكيد على ان هجين الذرة لاينتج بالضرورة كيزانا اكبر وافضل مما تحمله افضل النباتات التى يتم تلقيحها فى العراء. فهذا التلقيح هو التلقيح الطبيعى ويشمل كلا من التلقيح الذاتى والخلطى فى نباتات بينها صلة قرابة .



شكل (16 ـ 12) نبات الذرة الهجين، طريقة انتاج الهجين الاحادى والثنائى.

جينات اربع سلالات نقية، وبذلك يرتفع الانتاج وتتحسن الصفات ويزرع فى الولايات المتحدة مايقرب من 70 مليون فدان بطريقة التلقيح المزدوج.

وللزيادة فى نمو نباتات الجيل الاول F_1 الناتجة اما من تزاوج اصناف او تهجين سلالات نقية يطلق عليها قوة التهجين، وتوجد هذه الخاصية فى عدة نباتات اخرى بالاضافة الى نبات الذرة وغالبا ماتظهر هذه الخاصة فى نباتات الجيل الاول F_1 المتباينات عقب تهجين نباتات تكاد تقرب من متشابهات الزيجوت التى اكتسبت هذه الصفة نتيجة للتلقيح الذاتى سواء أكان طبيعيا او اصطناعيا . ولم يعرف بعد بوضوح الاساس الذى قامت عليه خاصية قوة التهجين،واحد الاراء لتفسيرها هو انها نتيجة لتجمع جينات سائدة نافعة باخرى منتحية ضارة،فالبرغم من ضعف كل سلالة من السلالات النقية نتيجة لوجود الصفات المتنحية



شكل (16 ـ 13) حقل فى كاليفورنيا مزروع ببذور بصل مهجنة لاغراض تجارية . الصفوف غير الكثيفة نباتات انثوية وهى عقيمة الازهار الذكرية . اما الصفوف الكثيفة فهى نباتات بصل تنتج حبوب لقاح عادية ومن ثم تحمل حبوب اللقاح بالحشرات الى النباتات الانثوية حيث تنتج الاخيرة بذور الهجين . يتمتع نبات البصل الهجين بصفات مماثلة لهجين الذرة.

الضارة فى متشابهات الزيجوت الا انه يحتمل الا توجد نفس الصفات الضارة فى اثنتين او اكثر من السلالات النقية التى انتخبت لانتاج هجين الذرة . وعلى ذلك ففى الهجين تستجد حال من الحالات التى تؤدى الى تكوين متباينات الامشاج بمعنى ان الصفات السائدة لاحد الابوين تستر الصفات المتنحية للاخر والنتيجة النهائية قوة الهجين، وتستغل هذه الخاصية فى انتاج الطماطم والقرع العسلى وبنجر السكر والتبغ والذرة الرفيعة وغيرها من النباتات النافعة. ويحذر مزارعو هجين الذرة من ادخار محصول احد الاعوام لاستعماله فى العام الذى يليه، لان ذلك يؤدى دائما الى نقص المحصول ويوضح الشكل (16 ـ 9) ضعف قوة الهجين بعملية التربية الداخلية، كما يبين الشكل (16 ـ 10) كيف يؤدى التلقيح الذاتى الى زيادة عدد متشابهات الزيجوت فحقول الذرة التى تزرع للاغراض التجارية بحبوب مهجنة

يتم فيها التلقيح فى العراء بين افراد تكاد تتشابه تماما، وهذه الطريقة من التلقيح تعادل الى حد كبير طريقة التلقيح الذاتى او التربية الداخلية، وعلى ذلك ينخفض الانتاج بدرجة كبيرة اذا ماعيدت زراعة الحبوب، فالامشاج التى تحمل جينات متنحية تلتحم مع جينات اخرى تماثلها من الوجهة الوراثية، ولم تعد هذه الجينات المتنحية تحتجب وراء صفاتها السائدة ولكى نحصل على اقصى محصول، يلزم اجراء التهجين بين السلالات النقية باستمرار والحصول منها على هجين لكل فصل نمو. ويوجد من مزارعى نبات الذرة من يخصص كل جهده للقيام بهذه المهمة.

العقم الذكرى: Male Sterility من العمليات التى تتطلب جهدا كبيرا لانتاج حبوب الذرة المهجنة نزع النورات المذكرة من النبات الام باليد، وقد استعيض الان عن هذه الطريقة المكلفة باستخدام امهات ذوات عقم ذكرى وتنتج هذه النباتات حبوبا بحالة طبيعية ولكن لايتكون حبوب لقاح حية، وعلى ذلك لايتم بها التلقيح الذاتى . ويحمل السيتوبلازم عامل العقم الذكرى (ms)، ولذلك فان النباتات ذات العقم الذكرى تنتج نباتات ذات عقم ذكرى ايضا بصرف النظر عما استخدام فى تلقيحها من حبوب اللقاح، وفضلا عن ذلك فان عامل العقم الذكرى لايظهر اذا ماوجد الجين النووى الذى يعرف باسم المجدد R (Restorer R).

ولاستخدام خاصية العقم الذكرى فى انتاج هجين للذرة يلزم ادخال العامل msفى احدى السلالات النقية المرغوبة فيها فى غياب المجدد R حينئذ تحمل هذه السلالة العامل السيتوبلازمى ms ms للدلالة على خاصية العقم الذكرى، كما تحمل الجينات النووية rr التى تدل على غياب الجين المحدد R من النواة ولتكوين سلالة نقية ذات عقم ذكرى من سلالة قياسية مرغوب فيها تلقح السلالة ذات العقم الذكرى بحبوب لقاح من سلالة مرغوب فيها ثم تلقح به ثانية تلقيحا رجعيا على مدى ستة اجيال او اكثر . وفى هذا التلقيح تستخدم السلالة ذات العقم الذكرى دائما كوالد ام تحمل الحبوب وللتأكد من غياب المجدد R تستخدم عملية الانتخاب اثناء عملية التلقيح السابقة.وبهذه العملية ينتقل كروموسوم السلالة النقية ب الى سيتوبلازم السلالة ذات العقم الذكرى وللاكثار من السلالة الناتجة تستخدم السلالة النقية العادية ب كوالد يكون حبوب اللقاح والسلالة النقية ms ب كأم تكون الثمار ويلزم التنبيه الى ان السلالة النقية ب التى تكون حبوب اللقاح يجب الا تحمل الجين المجدد r كما يجب ان تحمل السلالة النقيةأ والتى استخدمت فى التهجين أ × ب الصفة المتنحية rr للمجدد اما اذا لم يتوفر هذان الشرطان فالهجين الفردى الناتج من ب × أ سيظل يحمل حبوب لقاح، وتحتاج الى نزع النورات المذكرة.

وفى السنة التالية (شكل 16 ـ 12) تزرع السلالات الناتجة من ب × أ ، ج × د فى احزمة متبادلة ويتم التلقيح من السلالة الناتجة من ج× د وفى نهاية 1960 بدأ المزارعون يمزجون 90 او 95 فى المائة من الحبوب الناتجة من الهجين ذات العقم الذكرى الناتج من ب× أ مع 5 او 10 فى المائة من الهجين الذى يحمل حبوب اللقاح الناتج من ج × د ويجب ان يحمل الهجين الاخير الجين المجدد RR، والا لن يحصل المزارعون على محصول من الحبوب التى اشتروها.والنباتات التى نسبتها 10 فى المائة تزيد عن احتياجات النباتات التى فى الحقل وتزويدها بحبوب اللقاح، اما النباتات ذات العقم الذكرى والتى نسبتها 90 فى المائة فيزيد محصولها لانها لاتستهلك غذاء فى انتاج حبوب اللقاح وبهذه الطريقة لاتكون نسبة 90 فى المائة من النباتات الا حبوب فقط اما نسبة 10 فى المائة فانها تنتج حبوبا كما انها تنتج حبوب اللقاح.

وقد وجدت خاصية العقم الذكرى فى نباتات اخرى ذات قيمة اقتصادية فنباتات البصل ذات العقم الذكرى تستخدم على نطاق تجارى فى انتاج بذور مهجنة يستحيل اجراء التلقيح الخلطى باليد (شكل 16 ـ 13).

قوة الهجين والتكاثر الخضرى Hybrid Vigor and Vegetative Propagation

ان نسبة كبيرة من النباتات التى تنتج طعامنا وكذلك نباتات الزينة هى من النباتات متباينة الزيجوت بالنسبة للجينات المرغوبة فيها، ولها صفات قوة الهجين بدرجة واضحة فاذا مازرعت نباتات من هذا الهجين بالبذور فقد هذا الهجين قوته وظهر عليه اثر جينات غير مرغوب فيها. وهذا هو احد الاسباب التى من اجلها نعمل على الاكثار من كثير من النباتات

بالتعقيل والتبرعم والتطعيم وغيرها من طرز التكاثر الخضرى (الفصل 11) ومن بين النباتات الغذاء وكذلك نباتات الزينة التى بتكاثر خضريا البطاطس والبطاطا وقصب السكر والتفاح والكمثرى والكرز والخوخ والمشمس والشليك وعود الريح والداليا وغيرها من النباتات . والنباتات النافعة التى يتم انتاجها بالتهجين اذا ماتكاثرت بطرق التكاثر اللاتزاوجى فانها تحتفظ بقوتها ولايظهر عليها صفات غير مرغوب فيها بسبب عمليتى الانعزال والتوزيع المتجدد.

الخلاصة Summary

1 ـ تحدد الجينات صفات الكائن الحى.
2 ـ تقع الجينات على الكروموسومات وتوجد فى ازواج تسمى اليلات ويطلق على الكروموسومات التى تحمل جينات الٍلية allelic genes اسم الكروموسومات المتماثلة،واحد افراد كل زوج من الكروموسومات المتماثلة يأتى من احد الوالدين.
3 ـ فى غياب الطفرة يحتفظ كل جين بذاتيته من جيل الى اخر.

4 ـ يختزل عدد الكروموسومات فى عملية الانقسام الاختزالى من ثنائى العدد الكروموسومى الى احادى العدد الكروموسومى، واساس هذه العملية هو اقتران الكروموسومات المتماثلة وانفصال افراد كل زوج من الكروموسومات، يتلوهما انقسامان نوويان، بحيث ان كل نواة من الانوية الاربع الناتجة لاتحتوى الا على احد افراد كل زوج اصلى من الكروموسومات.

5 ـ يطلق على الكائن الحى الذى يتشابه فى جينان عل الكروموسومات المتماثلة وفى نفس الموضع اسم متشابه الزيجوت بالنسبة لهذا الجين . فالكائن الذى يحمل TT, tt يعتبر كائنا متشابه الزيجوت بالنسبة لهذه الجينات .

6 ـ يطلق على الكائن الحى الذى يختلف فيه جينان على الكروموسومات المتماثلة وفى نفس الموضع اسم متباين الزيجوت بالنسبة لهذا الزوج من الجينات . فالكائن الذى يحمل Ttيعتبر كائن متباين الزيجوت .

7 ـ نتيجة لانفصال الكروموسومات فى عملية الانقسام الاختزالى لايحوى المشيج غير جين واحد من كل زوج وليس كليهما ، ففى الانقسام الاختزالى يفصل من كل زوج من الجينات كل فرد فيه عن الآخر وينعزل عنه وهذا هو قانون مندل الأول .

8 ـ نتيجة لانفصال الكروموسومات فى عملية الانقسام الاختزالى يتم توزيع افراد كل زوج من الجينات بطريقة مستقلة عن توزيع افراد الزوج الاخر ، بشرط ان لا يقع الزوجان على كروموسوم واحد . ويعرف هذا بقانون مندل الثانى ،او قانون التوزيع المستقل .

9 ـ يقال ان جين احدى الصفات هو السائد اذا ظهر اثره وحده فى الهجين ، وتم استبعاد أثر الجين الآخر المتنحى للصفة المتفارقة الاخرى .

10 ـ الطراز المظهرى للكائن الحى هو مظهره الخارجى ـ اى مجموع صفاته المرئية . والطراز الجينى هو إجمالى جيناته بصرف النظر عن وضوح اثرها من عدمه .

11 ـ إذا لقح كائن بآخر يختلف معه فى جين واحد فقط ، اطلق على الهجين اسم الهجين الاحادى . ونسبة الطراز المظهرى لنباتات الجيل الثانى F_2 فى هذا الهجين الاحادى هى 3 :1 ، بينما نسبة الطراز الجينى هى 1 .2 ، 1 .

12 ـ إذا لقح كائن حى بآخر يختلف معه فى زوجين من جينات ، اطلق على الهجين اسم الهجين الثنائى . ونسبة الطراز المظهرى للنباتات الجيل الثانى F_2فى هذا الهجين الثنائى هى 9 : 3 :2 :1 ـ

13 ـ تتجمع الجينات بتشكيل جديد فى النسل اذا ما لقح ابوان يختلف احدهما عن الآخر فى جين واحد أو اكثر . ويطلق على هذا التشكيل الجديد إسم التوزيع الجديد .

14 ـ بالرغم من ان كل كروموسوم يستقل عن الآخر أثناء انتقاله بالوراثة (فى ما عدا اشتراكها فى كروموسوم واحد) إلا ان اثر احدهما لا يظهر مستقلا عن اثر الآخر . فالكروموسومات التى تشترك فى كروموسوم واحد تنتقل معا بالوراثة وتسمى هذه الحالة بالارتباط .

15 ـ قد لا تظل الجينات مرتبطة ببعضها نتيجة لعملية العبور الوراثى التى تحدث فى الانقسام الاختزالى، والعبور الوراثى عملية يصحبها تبادل أجزاء من الكروموسومات المتماثلة .

16 ـ بينما الجينات تورث إلا ان الصفات لا تورث والصفة هى الاثر الذى يظهر نتيجة لوجود جين واحد او اكثر فى بيئة معينة ، والطراز المظهرى للكائن الحى هو نتيجة للطراز الجينى الذى ينتقل بالوراثة كما انه نتيجة لتأثير البيئة .

17 ـ عملية الانتخاب سواء صحبتها عملية التهجين ام لم تصحبها هى الطريقة البارزة الفعالة لتحسين النباتات .

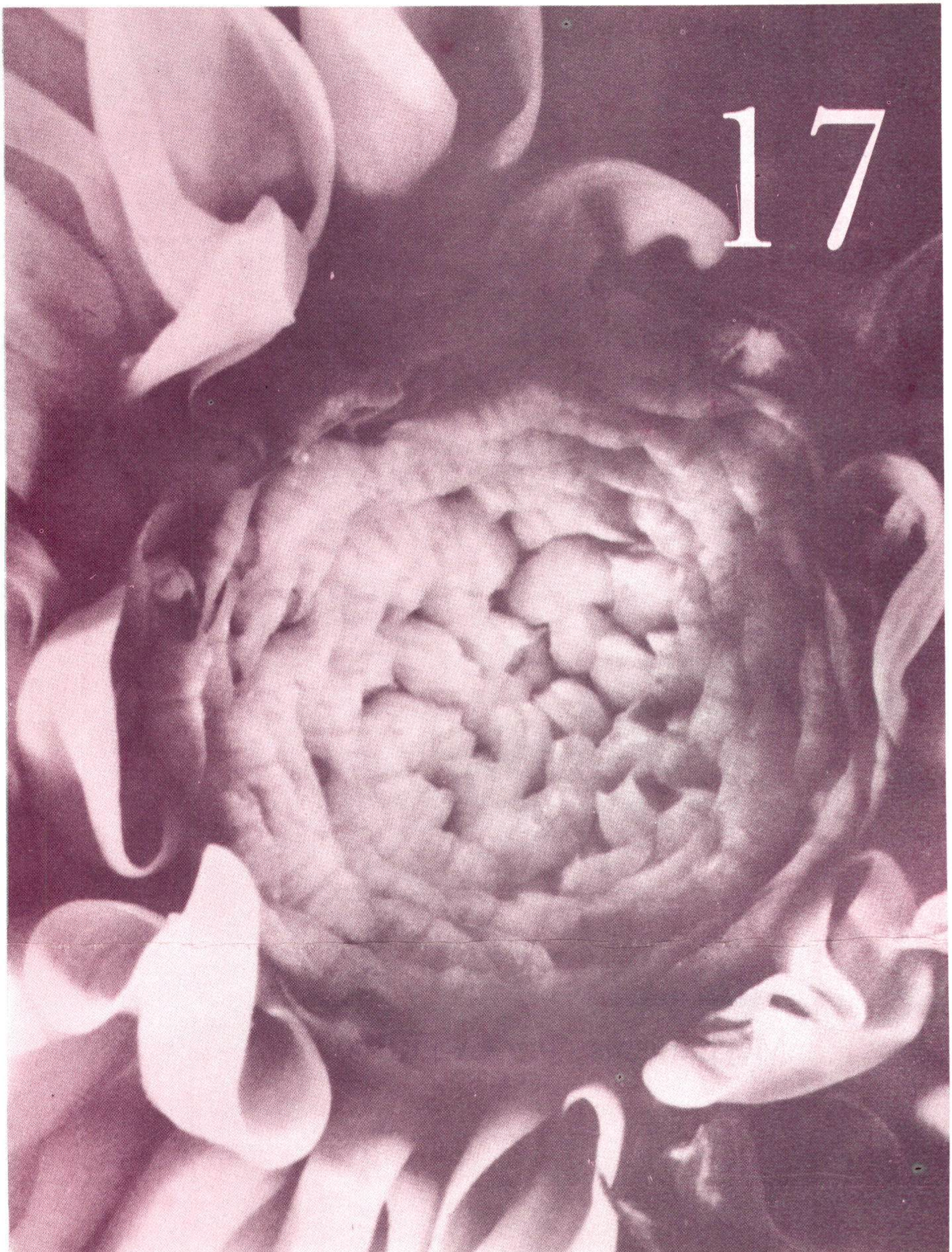
18 ـ اهم طريقة لتحسين نبات الذرة هى التهجين بين سلالتين اصليتين ، وينتج هذا التهجين سلالات لها خاصية قوة الهجين ، ويلزم عدم زراعة بذور من هجين الذرة لان محصولها يقل بسبب التربية الداخلية الطبيعية .

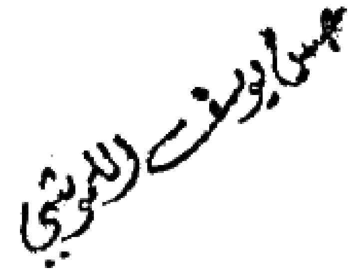
19 ـ تؤدى التربية الداخلية لنبات الذرة (أو اى نبات آخر يتم التلقيح فيه تلقيحا خلطيا بطريقة طبيعية) الى ضعف قوة الهجين وبالتالى الى نقص المحصول نتيجة لزيادة عدد الجينات الضارة المتنحية التى توجد فى متشابهات الزيجوت .

20 ـ تنتقل خاصية العقم الذكر ى بالوراثة الى النباتات الام (أى التى تحمل الحبوب) ولا تنتج سلالة هذه النباتات حبوب لقاح طالما لا يوجد بها الجين المجدد . ويلزم وجود هذا المجدد فى آخر هجين خلطى والا لا يتم تكوين حبوب لقاح فى حقول الزراع ، وبالتالى لا تتكون الحبوب .

آليات التطور

Mechanisms of Evolution


17



آليات التطور

Mechanisms of Evolution

التطور لفظ يدل فى مضمونه على التغير وقد حدثت تغيرات عبر العصور سواء فى الكائنات الحية أو فى الكون غير العضوى . فعالمنا الذى نحيا فيه فى تغير مستمر ولا يشذ عن ذلك الكرة الارضية فالتلال الخالدة ليست خالدة بأى حال من الاحوال بل انها تتآكل بالتدريج . فقد يحدث فى المستقبل كما حدث فى الماضى ان تظهر او تختفى قارات باكملها ويتغير وجه الكرة الارضية تغيرا جسيما وكما ان كرتنا الارضية تتبدل وتتطور كذلك يتطور ما عليها من نباتات وحيوانات بعملية يطلق عليها التطور العضوى organic evolution .

وطبقا للمبادىء التى قام عليها التطور العضوى تنحدر جميع الاحياء سواء اكانت نباتية او حيوانية من اصول مختلفة وفى معظم الحالات تنحدر هذه الاحياء من كائنات ابسط كانت تعيش فى الماضى والتباين بين الكائنات التى كانت تعيش فى الماضى وبين نظائرها التى تعيش حاليا هى وليدة تغيرات تركيبية وفسيولوجية اكتسبتها عبر مرور اجيال لا تعد ولا تحصى . وتعتبر نظرية التطور العضوى من اهم النظريات العلمية التى تتميز بالتعميم . ويؤيد هذه النظرية عدد كبير من الادلة سواء من علم الوراثة او من التشريح المقارن للنباتات والحيوانات او من علم الحفريات النباتية او من التوزيع الجغرافى للاحياء او من مقارنة العمليات الفسيولوجية والكيميائية الحيوية او من عملية الانتخاب التى تتم سواء بين الحيوانات المستأنسة او بين سلالات من النباتات المنزرعة .

ولو ان فكرة التطور تعود الى عهد الاغريق القدماء ، حيث انتقلت عبر العصور الوسطى كخيط رفيع الا انها ظلت خاطرا فلسفيا مبهما حتى اوائل القرن التاسع عشر . ثم ازدهرت الفكرة فى منتصف القرن التاسع عشر والان اصبحت جزءا اساسيا من العلوم البيولوجية كما ان لها نصيبا كبيرا من ثقافتنا .

ولن نحاول فى هذا الفصل تتبع فكرة التطور وتاريخها كما لن نحاول تعديد الادلة التى تؤيدها . وما يهمنا هنا ليس التطور وحقائقه ولكن العمليات التى تتم داخل اطاره . وقبل عرض الآراء الحديثة الخاصة بآليات التطور سنذكر الرأيين اللذين وضعا فى البداية لتفسير عملية التطور اذ بدونهما لا تكتمل الصورة وهما راى جين لامارك Jean Lamarck وتشارلز دارون Charles Darwin .

نظريات لامــارك وداروين Theovies of Lamarck and Darwin

انتقــال الصفــات المكتسبــة Inheritance of Acquired Characters

فى عــام 1809 نشر عالم البيــولوجيـا الفرنسى Jean Baptiste de Lamarck كتــابه المسمى فلسفــة الحيــوان philosophie zoologique ، عرض فيه تفسيرا لمذهب التطــور على اســاس الصفــات المكتسبــة acquired characters ويعنى لامارك « بالصفات المكتسبة » التحورات التى تحدث فى تركيب النبات أو الحيوان اثناء حياته استجابه للبيئة وتأثيرها . وكان لامارك يعتقد ان جميــع المظاهــر والخصائص التى يكتسبهــا الكائن النباتى او الحيوانى اثناء حياته تتــوارثها انســاله وان مثل هذه التغــيرات تتجمع وتتــراكم من جيل الى جيــل . ولكى يكتسب الكائن الحى او على الاقل الكائن الحيــوانى خصائص جديدة زعم لامارك ان أى تغير فى البيئة يسبب تغيرا فيما يحس به هذا الكائن من متطلبات ورغبــات . وبسبب هذه المتطلبــات ونتيجة لما يبذله الكائن الحيوانى لاشبــاع هذه الــرغبة تتكــون لديه اعضاء جديدة .

وقــد بنى لامارك نظــريته عــلى اساس ان استعمــال الكائن الحيوانى لعضو مــا او ممارستــه لخصائص معينــة يؤدى الى مــزيـد من تطــور هــذا العضــو وهـذه الخصــائص وان عــدم استعــماله لــهـا يــؤدى الى فقــدانــها وكــان لامارك عــلى اعتقـــاد بـان اســتعمـــال العـــضــو بصــورة متكررة يعمل عــلى تحسينه او يؤدى الى مــزيد من تطــوره وعلى العكس من ذلــك اذا ظل هــذا العضو عــاطلا تــوقفت وظيفتــه واختفى فى النهــاية . وقــد تصــور لامــارك ان التغــيرات التى تحدث اثناء حياة الكائن الحى وهى اكتســابه لاجــزاء جديــدة نتيجة لاستعماله لها او فقدانه لهــا نتيجة لعــدم استعمالهــا ، تنتقــل الى نسل الافــراد الذين حــدثت فيهم هــذه التغــيرات . وطبقا لنظرية لامارك لا تعمل البيئة بطريقة مباشرة على تشكيل الانواع الحيوانية ، ولكن تؤثر فى اتجاه تطورهــا وذلك بتغيــير احتياجاتها ومتطلباتها التى تعمل بدورها كحافز لانتــاج اجزاء جديدة او استخدام افضل لاجزاء كانت مــوجودة اصــلا ، او اختفاء اجزاء لم تعد هذه الانواع فى حاجة اليها .

ومن بين الامثلة العديدة التى ساقها لامارك لتأييد نظريتــه حيــوان الزرافــة giraffe . فهذا الحيــوان يــرعى عــلى اوراق الاشجار الخضراء ويظن لامارك ان ارجله الامامية ورقبته قــد استطالت نتيجة للجهد الذى بذله للــوصول الى طعــامه . وقــد انتقلت هذه الزيادة فى الطول الى النسل وصارت اكثر وضوحــا فى الاجيــال المتتابعــة successive generations . كما ســاق لامارك مثالا آخــر هو حيــوان السلامنــدر salamander الذى يعيش فى الكهوف لتوضيــح الاثر الفعــال لعدم استعمــال هذا الحيوان لاحد اعضــائه فقــد اعتقد ان هــذا الحيوان قــد فقد عينيه نتيجة لمعيشته فى الظلام . وقد ساق لامارك امثلة عديدة أخــرى على استعمــال الكــائن الحيــوانى لاعضــائــه او عــدم استعماله لها .

وعندما ادرك لامارك انه لا وجه للمقارنة بين النشــاط الذى تقوم به كل من الكائنــات النباتيــة والحيوانيــة ، اعتقد ان مــا يحدث فى الكائنات النباتيــة من تغير هــو نتيجة مبــاشرة لتأثــير البيئة عليها . فمثــلا اذا زرعت النباتــات البريــة فى بيئة اكثــر مــلاءمة لهــا ، تغيرت الى النبــاتــات التى تــألفهــا فى الحــدائق والحقول . وللدلالــة على عكس ذلــك ساق لامــارك مثالا نظــريا وببذرة احد نجيليات المراعى التى انتقلت بطريق الصدفــة الى منطقة جافة جرداء حجرية معرضة للرياح . فاذا بها قد انبتت وكونت نباتا ضئيلا كافح من اجل بقائه حيا فتكاثر وخرجت منه ســلالة نبــاتية تختلف عن نجيليــات المراعى التى منهــا نشأ .

وقد استبعد علماء البيولــوجيا فى العصر الحــديث فرضيــة تفسير اصل الانماط الجديــدة من الحياة عــلى اساس تــوارثها للصفات المكتسبة . ولا ينكر احد تــأثير استعمــال الاعضاء او عدم استعمالها على تركيبها ، ولكن التجــارب التى دامت اكثر من قرن من الزمان قد اوضحت ان مثــل هذا التــأثير لا يــورث فضلا عن ان مثل هذه النظرية لا تتفق مع مــا نعرفــه الآن عن آليات التوارث وعملياته.ولأسباب تاريخية محضة ذكــرت هذه النظرية التى هى ضرب من التخمــين السطحى وكان من ضمن الاسباب لذكــرها ايضــا هو ان بعض النــاس الذين ليست لهم دراية بالمنهــج العلمى يقدمــون حتى الآن ايضاحــات مماثلــة لتفسير ظاهرة الملاءمة وقبول مثل هذا الــرأى . وهو فى الــواقع

قبول لا للمنهج العلمى وهو البحث عن وسائل لتفسير هذه الظاهرة وغيرها ، ولكنه قبول لمبدأ الغاية من هذه الظاهرة وغيرها ، ذلك المبدأ الذى طالما عاق مسيرة التقدم والبحث العلمى . ومما يذكر ان تفسير ظاهرة الملاءمة على اساس توارث الصفات المكتسبة قام باحيائه من جديد منذ عهد قريب العالم النباتى الروسى T . Lysenko ، ولكن عمله هذا لم يلق تأييدا يذكر .

الانتخاب الطبيعى : Natural Selection

فى عام 1859 نشر شارلز دارون نتائج بحوثه العظيمة فى كتابه اصل الانواع بالانتخاب الطبيعى او حفظ السلالات الفضلى (بقاء الاصلح) نتيجة لتنازعها من اجل البقاء» .
On the Origin of Species by Means of Natural selection , or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life

وفى هذا الكتاب الذى كان له اثره العميق سواء من الناحية الاجتماعية او العلمية بين دارون حقيقة عملية التطور العضوى وشيده على دعائم ثابتة ، وهو اول من نادى بالانتخاب الطبيعى كتفسير لهذه العملية ويمكن تقسيم النواحى الجوهرية لنظرية دارون الى ثلاثة اجزاء مترابطة .

التباين : Variation :

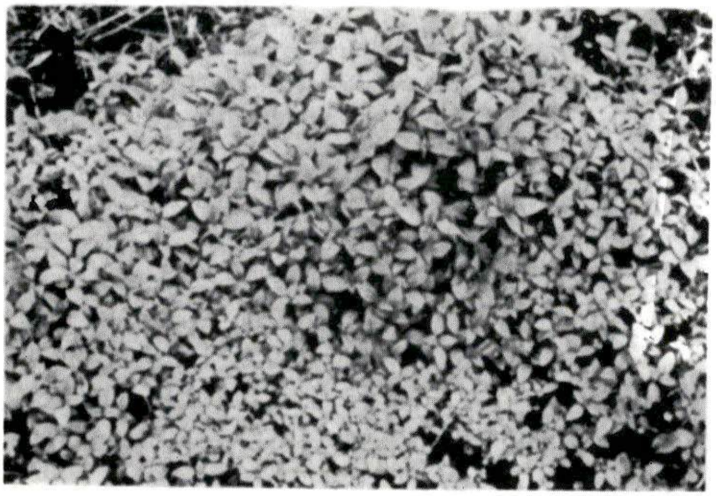
انفق دارون الكثير من الوقت فى مراقبة وتسجيل التباين ، سواء بين النباتات او الحيوانات ،فلا يوجد فردان ينتميان الى نفس الابوين يتشابهان تشابها تاما حتى وان عاشا فى نفس الموقع . وقد لاحظ داورن انتقال بعض الصفات المتباينة الى النسل . وعدم انتقال بعضها الآخر ولكن لعدم علمه بالآليات الحديثة للتباين لم يستطع التعرف على طرازين اساسيين لهذا التباين ، احدهما يورث والآخر تحدثه البيئة وعلى ذلك لا ينتقل من جيل الى آخر .

التنازع على البقاء : The Struggle for Existence

ان معدل الزيادة العادية فى عدد الانواع هى من المتواليات الهندسية . فالعمليات الحسابية تشير الى ان نسل أى عدد من الانواع اذا ما بقى حيا وبالتالى تكاثر فانً بضعة اجيال من هذا النوع تغطى الكرة الأرضية ولنفرض لذلك مثالا : نبات حولى يحمل 100 بذرة (وكثير منها يحمل عدة آلاف من البذور) ينتج 100 نبات فى موسم النمو التالى ، وهذه النباتات يحمل كل منها بدوره (100) بذرة ايضا . فاذا استمرت الزيادة فى عدد النباتات بهذا المعدل بدون انقطاع حتى نهاية الموسم الثامن فان هذا العدد يصل الى مائة الف مليار نبات ناضج هى كلها سليلة للنبات الاول مباشرة . فاذا كان هذا النبات هو نبات الذرة وزرع بمعدله العادى لتكاثر وغطى كل الاراضى المنزرعة على وجه الكرة الارضية .

وبسبب هذه المعدلات التكاثرية المروعة للنباتات او الحيوانات التى تحدث انفجارا تكاثريا، لمبدأ اطلق عليه دارون «التنازع على البقاء» فبقاء النوع حيا يتوقف على قدرته على التكاثر بالرغم مما يتعرض له من عوامل بيئية ضارة، لاتشمل التربة والعوامل المناخية مثل درجات الحرارة القصوى والدنيا والجفاف فحسب بل تشمل ايضا فعل الكائنات الحية الاخرى مثل القوارض، والطفيليات، فكما تعمل الحيوانات على استنفاذ طعامها ونضوبه كذلك البادرات النباتية تنمو غالبا فى ظروف لاينجو منها الا الاقوى والاوفر حظا (شكل 17 ـ 1)

شكل (17 ـ 1) المنافسة بين بادرات حشائش القريصات القنبية
hemp – nettle (Galeopsis tetrahit)
تتنافس هذه البادرات على الماء والضوء والاغذية المعدنية ولا يمكن الا للقليل منها العيش .



ومع ذلك بالرغم من هـذه القوى المهلكـة ، فاذا تصـادف ونجا عدد من نسل احد الانواع ووصل الى حالة النضج، فانه يتكاثر ويعوض مافقده من افراد فى جيله السابق او يزيد عليه، حينئذ يضمن هذا النوع بقاءه.

الانتخـاب الطبيـعـى: Natural Selection فى الظـروف الطبيعيـة تتعرض الكـائنات الحيـة لقـوى متبـاينـة، ونظـرا لاختلاف افراد العشـيرة فان هـذه الافراد لاتتـلاءم كلها مـع الظروف السائدة، ومايتـلاءم منها بطـريقة افضـل هو الـذى يحتمـل بقـاؤه حيـا. ولاتعـرف اهميـة عـدد كبـير من هـذه الاختـلافات سـواء بين افـراد النوع الـواحد او بـين الانواع المختلفة ، ولكن بعض هذه الاختـلافات ضـار، والبعض الاخر مفيد وهو مايسمى نسبة المقدرة على البقـاء Survival Value فالنباتات التى لاتصنع غذاءها بدرجة كافية نتيجة لنقص كمية الكلورفيل بها، تنمو ابطأ من غيرها وبالتالى لايكتب لها البقاء ، وتستبعد الافراد التى تتغـير فى اتجاه غـير ملائم لهـا حتى ولو كان هذا التغيير طفيفا، فاى نقص فى كفاءة فـرد حتى وان كان زهيدا لايعتد به هو عامل مهلـك بالنسبـة لهذا الفـرد. هذا من جهـة ، ومن جهة اخـرى فان التغـيرات التى تعين عـلى عملية التلقيح، او التى تسمح بالنمو فى اماكن فقيرة او التى تعمل على تحسين انتشار البذور، او التى تقلل من اضرار انخفـاض درجة الحرارة فى الشتاء تعتبر كلها عادة من ضمن نسبة المقدرة على البقاء ، والنباتات التى تحوز هـذه القيم وليس غيرهـا هى التى يكتب لها البقاء.

وكـان داروين عـلى علم بـالانتخـاب الطبيعى ولكن اهميتـه لاتنحصر اساسا فى بقاء الافراد كما كان يقـول داروين من قبل، بل انه تبعا لنظريـة التطور الـحديثة يتعـدى هذه الاهميـة الى مدى نجاح الافراد فى انتاج السـلالات، اذ بتغير بعض افـراد عشيرة ما تغـيرا اكثر من بـاقى افرادهـا بحيث تتلاءم فيـه مع البيئة سواء المـوجودة منهـا او التى تغيرت الى بيئـة جديـدة ، والافراد التى تستحوذ على هذه الصفات الملائمـة تورثهـا عن طريق الجينات الى جزء من سلالتها فيكتب لها البقـاء وتتكاثـر بعدد اكبر من بقيـة الافراد التى لم تتـلاءم، وبذلـك يزداد من جيل الى جيل عدد افضل الافراد واصلحها لتلاؤمها مع البيئة وهـذا مـايعـرف بـاسم التكـاثـر التفـاضـلى differential reproduction ومعناه التكاثر الذى يفاضل ويميز بين الافراد التى تتـلاءم مع البيئـة، وبين غـيرهـا التى لم تتـلاءم معهـا . والتكاثر التفاضلى هـو نتيجة لعمليـة الانتخاب الطبيعى، التى يمكن تعريفها بـانها اثـر البيئة عـلى مايـورث من الخصائص اللازمة للبقاء، وهذا التكاثر هو الذى يعمل بدوره على تغير عدد افراد العشيرة من جيل الى جيل.

والاصطلاحان «التنـازع او الصراع على البقـاء» struggle for existence والبقـاء للاصلـح survival of the fittest. واللـذان يصحبان عـادة عملية الانتخـاب الطبيعى، لم يقصد بهمـا داروين عنـد صيـاغتهمـا، هـذا الصراع الحقيقى بـين الحيـوانات، فقـد يحدث هـذا النـوع من الصراع بـين بعض الحيوانات اما «الصراع» هنا فيعنى صراعـا بين افـراد داخل البيئـة ككل، وذلـك للحصول منهـا على الطعـام وعلى مـوضـع تستقر فيه لاينازع الواحد منها فيـه فرد اخـر كما تعنى كلمـة البقـاء الحفاظ عـلى الجينات عبـر السلالات اثنـاء تكاثـرهـا، ولاتعنى بقاء الافراد.

والخلاصة ان البيئـة تعمل عـلى انتخاب تلـك الافراد التى كان التغير ذا فائدة لها كما تعمل البيئة عـلى استبعاد الافـراد التى اضر التغـير بها، وقـد اطلق داروين على هـذه العملية اسم الانتخـاب الطبيعى . ويلـزم التفـرقـة بينـه وبـين الانتخـاب الاصطنـاعى الذى يمـارسه الانسـان لتحسـين حيـوانـاتـه المستأنسة ونباتاته المزروعة والانتخاب الاصطناعى للنباتـات والحيـوانات المستـأنسة هـو دليـل يؤيـد نظـريـة الانتخـاب الطبيعى.

الرأى الحديث The Modern View فى الربع الاول من هذا القرن، كان مذهب داروين على وشك ان ينسى فى غمرة الحمـاس بمولد علم الـوراثة، الا ان مـااستحدثـه علم الوراثـة قد القى الضـوء على كثـير من مظاهـر عمليـة الانتخـاب الطبيعى، ولم يتعـارض قط مع مـااستنبطه داروين من اسس، فنـذكر بهـذا الخصوص مااستحـدثه علم الـوراثة من تفسـيرات عن منشأ التغيرات التى تتحكم فى عملية الانتخاب الطبيعى.

لقـد رأينا فى الفصـل السـادس عشر ان تـوريث الصفـات inheritance ربمـا يتـأثـر ويتـغـير بطـريـق الانـعـزال segregation، وبعمليات اعادة ترتيب الجينات recombination of genes وذلـك عبر التكـاثر الجنسى، ويـرجع تحسـين

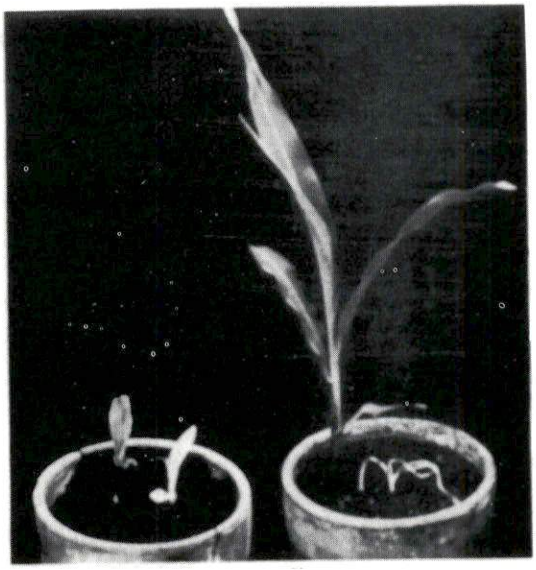
النباتات والحيوانات المستأنسة فى معظمه الى هاتين العمليتين، كما يعمل الانتخاب الطبيعى دائما على ايجاد ترتيب افضل للجينات gene conbinations داخل افراد الهجين -inter breeding population، وفى الامكان ان تعمل اعادة ترتيب الجينات وحدها على ايجاد عدد كبير من التغيرات الا ان مثل هذا العدد من التغيرات قد يكون محدودا اذا لم يضعف باستمرار الى افراد العشيرة وحدات وراثية جديدة . وتنشأ هذه الوحدات الجديدة بعملية يطلق عليها الطفرة mutation وحيث ان البيئة لاتظل على نسق واحد فمن الضرورى ان تعمل كل من الطفرة واعادة الترتيب على احداث تغيرات وراثية اذا قدر للانواع البقاء.

الطفرة: Mutation تظهر الطفرة فى السلالة عادة على شكل صفة موروثة لاتوجد فى اسلافها القريبة منها، وتنشأ مثل هذه التحورات فى الخلية نتيجة لتغير المواد الوراثية بها، وتقسم الطفرات الى قسمين هما: (1) الطفرات الجينية gene mutation (2) الطفرات الكروموسومية chromosome mutation والطفرة الجينية هى تغير فى ترتيب القواعد النيتروجينية داخل جزء يسير من جزىء الـ DNA يؤلف جينا . فاذا ماتضاعف هذا الجين، تم الحفاظ على مايحدثه من تغير ، ونتج عن ذلك جين جديد، اما الطفرات الكروموسومية فهى ترتيب جديد للجينات القديمة سواء بانقلاب inversion اجزاء قصيرة داخل الكروموسوم الواحد، او انتقال Translocation جزء من كروموسوم الى اخر غير متماثل مع الكروموسوم الاول، ويلزم التفرقة بين عمليتى العبور والانتقال، فالاولى هى تبادل الاجزاء بين زوج من الكروموسومات المتماثلة وقد تحدث فى الطفرة الكروموسومية تغيرات اخرى مثل الحذف (Loss) deletion او تضاعف الاجزاء الكروموسومية duplication وبالرغم من ان هذه التغيرات لاتؤدى غالبا الى ادخال مواد وراثية جديدة الا انها تسبب تغيرات مظهرية كما انها تؤدى غالبا الى عقم بين نبات الطفرة وبين والديه فاذا ماقدر لهذه الطفرات البقاء تصبح انسالها مؤهلة لتكوين انواع نباتية جديدة ، وهناك ايضا طراز اخر من الطفرات الكروموسومية وهو الزيادة فى مجاميع العدد الكروموسومى، وهذا ماسنبينه فيما بعد فى هذا الفصل، وغالبا مايصعب او يستحيل التمييز بين الطفرات الجينية والطفرات الكروموسومية وكلاهما هام فى عمليات التطور . ومع ذلك فالاعتقاد السائد ان الطفرات الجينية لكونها سببا فى منشأ الصفات المتفارقة الجديدة هى الاسس التى ترتكز عليها القواعد الاصلية للتطور فى مداه الطويل، كما ان عليها تقع تبعية معظم الاختلافات التركيبية والفسيولوجية التى تدخل ضمن عملية التطور وما يحدث فيها من تغيرات.

لم تعرف بعد الاسباب الاساسية للطفرات الجينية ولكن تجارب متكررة اوضحت ان اشعة اكس والاشعة فوق البنفسجية والاشعاعات التى تنبعث من المواد ذات النشاط الاشعاعى او المعاملة سواء ببعض الكيميائيات او درجة الحرارة المرتفعة كلها تؤدى الى زيادة عدد مايحدث من هذه الطفرات الجينية . وعلى فرض ان جميع الجينات قادرة على احداث طفرات، الا انها على جانب كبير من الاستقرار فاحتمال احداث طفرة باى جين معين لايتعدى فى المتوسط جزء من مليون-ومع ذلك فلكون الكائنات البسيطة مثل حشرة الدرسوفيلا قد تحتوى على 5000 الى 10٫000 جين فى كل خلية منها، يظل احتمال احداث طفرة ببعض انماط من الجينات فى بضع اجيال من حياة الكائنات الحية عاليا.

ويبدو ان الطفرات تحدث بطريقة عشوائية حيث لايمكن التكهن بحدوثها . وبعض الجينات تحدث طفرات اكثر من غيرها. ومن المعروف ان معدل احداث طفرات فى بعض النباتات والحيوانات يكون اكثر من معدله فى غيرها. وتحدث الطفرة فى اى طور من اطوار النبات اثناء تكوينه، كما تحدث سواء فى الخلايا الجسمية او الخلايا التكاثرية . ويمكن التعرف على حالتين من الطفرات سائدة ومتنحية، الا ان الحالة المتنحية لاتظهر بوضوح فى الكائنات ثنائية المجموعة الكروموسومية.

ويندر ان تحدث الطفرات تغييرا كبيرا فى الطراز المظهرى، فمعظمها لايحدث الا تغيرات طفيفة، وغالبا ماتتضاءل هذه التغيرات بحيث لايمكن ادراكها الا بصعوبة، وقد تكون هذه الطفرات محايدة، او نافعة او ضارة وتعمل الطفرات الضارة على الاقلال من ملائمة الكائن الحى للبيئة . ويوجد من الطفرات مايسبب موت الخلية او الكائن الحى، فالخلية التى تفتقر الى انزيم من الانزيمات الاساسية لعملية التنفس تموت سريعا . ونبات الطفرة الذى ليس له قدرة على انتاج صبغة الكلورفيل، قد ينمو لفترة قصيرة، ولكن لايكتب له البقاء بعد ان



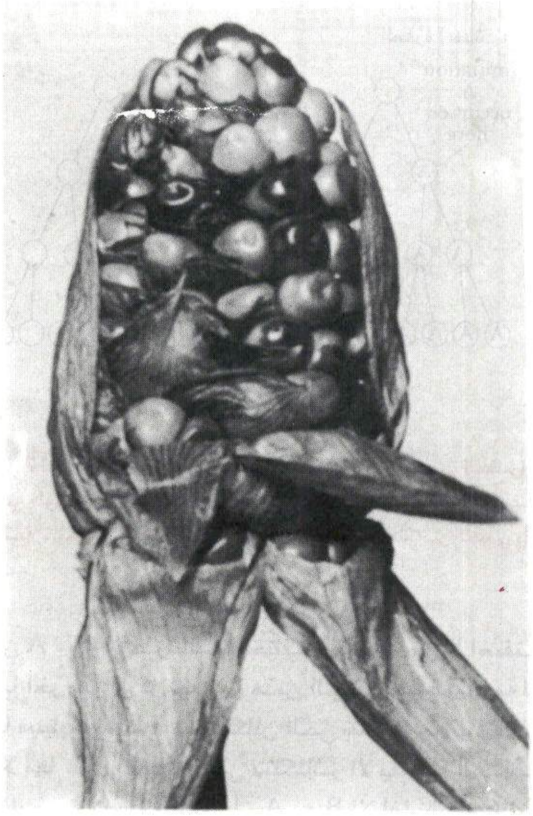
شكل (17 ـ 2) (اليسار) بادرات عادية لنبات الذرة ، واخرى تحمل جينات مهلكة lethal genes حيث تنتج افتقار النبات للكلوروفيل فور الانبات (اليمين) نفس النباتات بعد ثلاثة اسابيع . خارت قوى النبات الخالى من الكلوروفيل فمات .

يستهلك ماديه من غذاء (شكل 17 ـ 2) وقد وجد ان معظم الطفرات التى درست هى من الطفرات الضارة . ويمكن تعليل ذلك بمقارنة الكائن الحى بآلة معقدة تسير سيرا حسنا فاذا ماحدث جزافا تعديل ولو طفيف فيها اضحت بصفة تكاد تكون مؤكدة، فى حالة اقل كفاءة من حالتها الاصلية، ومع ذلك تتم الطفرات النافعة باعداد تكفى لسير التطور ودفعه الى الامام بعملية الانتخاب الطبيعى، والسرعة التى تتم بها التغيرات الناتجة عن هذه الطفرات النافعة تكفى لدفع التطور العضوى الى الامام، وليس ادل على ذلك مما هو مسجل فى طبقات سطح الارض، واعجب مظهر من مظاهر عملية الانتخاب الطبيعى هو قدرتها على تفحص وعزل الاعداد الصغيرة من الطفرات المناسبة والاحتفاظ بها للاجيال المقبلة، بالرغم من طفيل الطفرات الضارة.

وتؤثر الطفرات الجينية على الطراز المظهرى ، وغالبا مايكون هذا التأثير معقدا . فقد يعمل كثير من الجينات على تغير عدة صفات وليس صفة واحدة . ففى نبات فاصوليا الليما Lima Beans مثلا لايسبب جين الطفرة المتنحى Mutant Recssive Gene عقما ذكريا (وهو عدم تكون حبوب لقاح عادية) فحسب ، بل يسبب أيضا تكوين بادرات غير طبيعية . وفى نبات الذرة الحقلية يؤثر جين واحد سائد على تكوين العصيفات . فبالإضافة الى العصيفة الكبيرة التى تغلف الكوز ، يتكون عدد من العصيفات الصغيرة على شكل قنابات كل منها يغلف حبة واحدة او أربع حبوب (شكل 17 ـ 3) ولجين الطفرة هذا آثار عديدة أخرى فهو يعمل على تفريغ النبات بوفرة عند قاعدته (تكوين الفسائل) ويستطيل نصل الورقة ويهزل بشكل غير طبيعى ، ولاتتفرع الشعيرات (الشواشى) ، ويزداد عدد العصيفات الخارجية التى تغطى كل كوز زيادة كبيرة ، ويزداد بدرجة كبيرة أيضا عدد عقد الساق التى فوق الكوزعن عددها فى الأنماط العادية . ومثال ثالث يذكر من البحوث التى تجرى الآن على نطاق واسع فى الوراثة التجريبية على عفن النيروسبورا Mold Neurospora . فطفرة جينية واحدة تنتج سلالة مطفرة تعجز عن تخليق مادة النمو (ادينين Adenine) ، بينما السلالة البرية لاتعجز عن ذلك . وفضلا عن ذلك فهذه السلالة المطفرة ارجوانية اللون ، بينما اللون العادى لهذا العفن قرمزى (اللوحة ـ 7) ويمكن سياق عدد آخر من الامثلة سواء من النبات أو الحيوانات .

واذا ماعرف جين مطفر وتعددت تأثيراته فان كل تأثير منه يمكن أن يعزى الى هذا الجين مباشرة . ومع ذلك لم تثبت بعد مثل هذه الحالة . والمعتقد غير ذلك فقد ثبت فى بعض الحالات أن جين الطفرة لايؤثر إلا تأثيرا واحدا أساسيا على بعض خطوات عملية التحول الغذائى . ويؤدى هذا التأثير بدوره الى تفاعلات أخرى ناجمة عن التأثير الاصلى ولكنها بعيدة الى حد ما عن هذا التأثير .

وعلى العكس من ذلك فقد تتأثر صفة واحدة بجينات فى مواضع كثيرة . فمن المعروف مثلا ، أن أكثر من 30 جينا تؤثر على صفة لون العين فى حشرة ذبابة الفاكهة الصغيرة drosophila . وأخيرا فقد يختلف اختلافا بينا تأثير الجينات مجتمعة عن تأثير كل جين على حدة . وعلى ذلك تتغير الملامح التى تختص بها الجينات فى حالة وجود غيرها . وتعرف هذه الظاهرة باسم «الفعل المتبادل للجينات» Gene

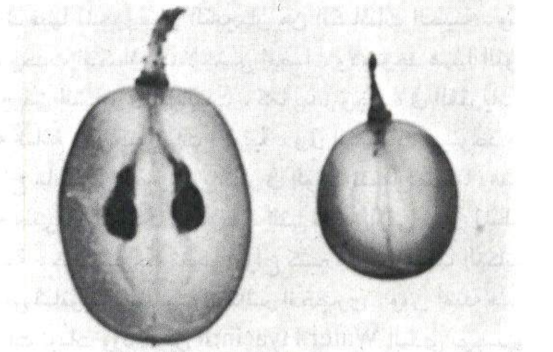


شكل (17 ـ 3) طفرة وراثية فى الذرة تدعى التيوبود «teopod» ، تظهر القنابات bracts المتضخمة وتغطى من حبة الى اربع حبات من عند القاعدة .

Interaction . فمثلا قد يسلك الجين A سلوكا محايدا اذا اجتمع مع جين آخر مثل B ، او قد يسلك سلوكا ضارا اذا اجتمع مع C . او سلوكا نافعا اذا اجتمع مع D .

الطفرات الجسمية : Somatic Mutations

تحدث الطفرة سواء أكانت جينية أو كروموسومية فى الخلايا الجسمية ، كما تحدث فى الخلايا التكاثرية . ومن بين الطفرات التى تنشأ بهذه الطريقة مايعرف باسم الطفرات البرعمية Bud Mutations اولهو البراعم Bud Sports فقد يحمل غصن من أغصان النبات أوراقا أو أزهارا أو ثمارا تختلف عن الأجزاء الاخرى من النبات . وتوجد مثل هذه الطفرات فى عدة أنواع من النباتات الزهرية ، سواء أكانت خشبية أو عشبية . وبعض من ثمارنا الثمينة مثل أصناف التفاح والبرتقال والعنب اللابذرية تنشأ بهذه الطريقة (شكل 17 ـ 4) . كما توجد الطفرات البرعمية ايضا فى نباتات الزينة مثل الكريزانثيم والسراخس والورد والداليات . وفى بعض الأحيان يمكن الاكثار من هذه الطفرات بالبذور ، ولكن غالبا مايستلزم ذلك إكثارها خضريا . فنبات البنفسج الأفريقى الشائع (Saintpaulia) يشتهر بوجود عدد من الطفرات الجسمية التى تنشأ على العقل الورقية . وتختلف هذه الطرز المطفرة فى الحجم والشكل ولون الأوراق والأزهار ، ويمكن الاحتفاظ بها اذا تكاثرت خضريا . ومما يسترعى الانتباه ماوجد من أن ساق كل من النباتات الجديدة الصغيرة تنشأ من خلية واحدة من خلايا البشرة الموجودة سواء فى عنق الورقة او قاعدة نصلها . واذا تعرض هذا العنق ، قبل الزراعة ، الى جرعة معينة من اشعة اكس فان الزيادة فى معدل الطفرات التى يحملها تبلغ حوالى 21 فى المائة .



شكل (17 ـ 4) الطفرة البرعمية bud mutation فى العنب Emperor grape (اليسار) حبة عنب عادية ذات بذور (اليمين) حبة عنب تخلو من البذور .

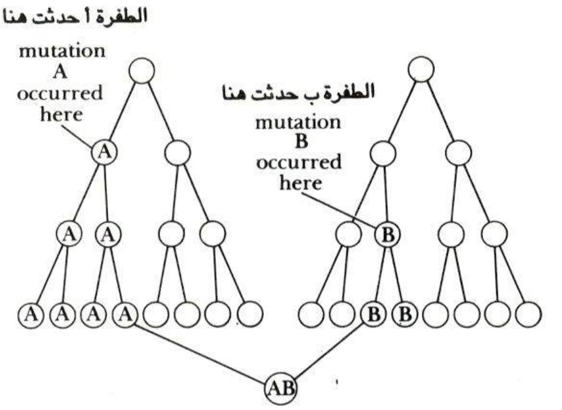
المغزى التطورى للجنس : The Evolutionary Significance of Sex

تحدث عملية التكاثر الجنسى فى كل النباتات والحيوانات تقريبا ، أو ربما جميعها وتعتبر احدى المظاهر الأساسية التى

تشترك فيها المجموعتان الكبيرتان من الكائنات الحية . ومع ذلك يحدث التكاثر اللاجنسى ايضا . ولايوجد هذا النوع الاخير من التكاثر فى الثدييات ، كما يندر وجوده فى الفقريات ، ولكنه شائع فى الحيوانات الأولية . وفى النباتات ، يوجد من الانواع مايتكاثر خضريا ويتكاثر فى الوقت نفسه جنسيا وهذا شائع حتى فى النباتات الزهرية ، التى تعتبر أرقى ما فى المملكة النباتية . حيث يوجد منها انواع كثيرة يعتبر فيها التكاثر الجنسى ثانويا بالنسبة للتكاثر الخضرى . ومن أمثلة هذه النباتات نبات ورد النيل Water Hyacinth الذى يوجد فى الولايات الجنوبية وكاليفورنيا ، ولو أن هذا العشب جذاب الا أنه ممقوت وضار حيث قد يكون كتلا كبيرة من النباتات الطافية تعرقل مجرى الجداول (اللوحة _ 3) . ولهذا النبات قدرة على تكوين بذور ، إلا أنه غالبا مايتكاثر بالريزومات . وفى النباتات البدائية الأقل رقيا تعتبر طريقة التكاثر اللاتزاوجى من الطرق الفعالة لزيادة أعدادها . فهى أكثر فاعلية من التكاثر التزاوجى فما هى اذن قيمتها التطورية ؟

تبدو أهمية التكاثر التزاوجى فى عملية التطور اذا ما أدركنا مغزى التباين وعلاقته بالانتخاب الطبيعى . فلا يشمل التكاثر التزاوجى اندماج نوعين من الأمشاج فحسب ، وانما يشمل أيضا كافة النظام الآلى من عملية توزيع حر للكروموسومات المتماثلة ، الى عملية انعزال واعادة ترتيب الجينات ، وكلها عمليات تعتبر أسسا للوراثة المندلية بمعناها الحديث . فبعملية التكاثر التزاوجى يعاد ترتيب الجينات من أفراد متباينة فى تراكيب جديدة متنوعة ، وعليه يزيد عدد المتغيرات التى عليها تعمل عملية الانتخاب وكلما زاد عدد التراكيب الجديدة للجينات التى هى نتيجة مباشرة للتكاثر التزاوجى ، كلما زاد احتمال ماهو نافع فيها . ففى الكائنات الحية التى لاتتكاثر الا بعملية التكاثر اللاتزاوجى لايتم تكوين هذه التراكيب الجديدة المتنوعة الا بوجود عدد كبير من الطفرات علاوة على فترة طويلة من الزمن . وهذا مايعوق مثل هذه الكائنات من أن تتنافس مع الكائنات الأخرى التى تتكاثر تكاثرا تزاوجيا .

ومثال بسيط يوضح مايمتاز به التكاثر التزاوجى عن اللاتزاوجى من انتقاء للطفرات . لنفترض وجود كائنين مختلفين ولكن بينهما صلة قرابة يتكاثران بطريقة التكاثر اللاتزاوجى فقط (شكل 17 _ 5) . فاذا حدث فى احدهما طفرة



شكل 17 _ 5) رسم تخطيطى يوضح كيف يمكن ان تتحد الطفرات الجينية الموجودة فى اعضاء مختلفة والتى تتكاثر فى العادة بالطرق غير الجنسية ، لتكون وحدة قائمة بذاتها اذا ما سمح للتكاثر الجنسى بان يحدث .

ولتكن A ، وفى الآخر طفرة مختلفة ولتكن B ، واذا اضفنا فرضا آخر وهو أن كل جين من هذين الجينين بمفرده لاقيمة له وانما قيمتهما يستفيد منها الكائن الحى بتلاؤمه مع البيئة اذا عملا معا . وفى الأنواع التى لاتتكاثر الا بعملية التكاثر التزاوجى ، لايجتمع الجينان A مع B إلا اذا نشأت طفرة جديدة من A فى أحد أفراد B ، أو طفرة جديدة من B فى أحد أفراد A . وكل من هذين الحدثين بعيد الاحتمال ، حيث ان الطفرات يندر حدوثها . هذا من جهة ، ومن جهة اخرى اذا تكاثر هذان الكائنان تزاوجيا فانه يمكن تهجين الافراد التى تحمل الجين A بالافراد التى تحمل الجين B فيجتمع الجينان معا فى كائن واحد .

وعلى ذلك يعمل التكاثر التزاوجى على تجميع الطفرات ، التى تنشأ مستقلة عن بعضها فى تراكيب جديدة متنوعة . فاذا لم يوجد التكاثر التزاوجى فلا يحتمل أن تتجمع هذه الطفرات إلا نادرا . ومما يلفت النظر هذا العدد العظيم من التراكيب التى يعمل التكاثر التزاوجى على تجميعها من الطفرات . فاذا حدثت 100 طفرة فى عشيرة تتكاثر تكاثرا لاتزاوجيا ، فقد تنتج هذه العشيرة 101 نمطا من الأفراد ، وهو النمط الأصلى منها مضافا اليه 100 طفرة . هذا من جهة ، ومن جهة أخرى اذا حدثت 100 طفرة فى عشيرة تتكاثر تكاثرا تزاوجيا ، فان هذه العشيرة تنتج 100 زوج من الجينات ، كل زوج منها يحتوى

على جين عادي وآخر مطفر . ويمكن لهذه الجينات أن تتجمع لتكون انماطا مختلفة من الطرز المظهرية يبلغ عددها 3^{100} نمطا . ويصل هذا العدد الفلكي الكبير الى 51,534,762 وأمامه 40 صفرا . وقد لايتحقق من هذه التكوينات المحتملة إلا جزء منها وانما ذكر هذا المثال لتوضيح الزيادة الهائلة فى قابلية الأفراد للتباين ومايتنجه التكاثر التزاوجي من امكانية تكوين تراكيب جينية جديدة . ولابد أن تتبع مثل هذه الزيادة الكبيرة فى قابلية الأفراد للتباين زيادة فى عدد المتغيرات الملائمة ، وبالتالى زيادة كبيرة فى كفاءة عملية التطور .

ولايقتصر نفع عملية اعادة ترتيب الجينات على علاقة هذه العملية بتكون طفرات جديدة ، بل انها تؤدى الى تراكيب جديدة للجينات الموجودة أصلا فى العشيرة . ولم يتوقع داروين أن يؤدى هذا المصدر الى قابلية الافراد للتباين ، فقد اتضح ذلك فيما بعد نتيجة للدراسات الوراثية فى القرن العشرين . ويمكن تشبيه عملية اعادة ترتيب الجينات بعملية خلط أوراق اللعب . فلا يضاف جديد الى مجموعة الأوراق عند خلطها ، ولكن تراكيب جديدة تظهر عند اللعب بهذه المجموعة من الأوراق . وكما أن بعض هذه التراكيب مريحة للاعب الورق ، كذلك بعض التراكيب الجديدة للجينات القديمة ذات نفع للنبات اذا ماخضعت لتأثير الانتخاب الطبيعى .

التلقيحان الخلطى والذاتى Cross- and Self-Pollination :

لا يتحتم على التكاثر التزاوجى ذاته أن ينتج طرزا جينية بها أفراد قابلة للتباين تخضع لعملية الانتخاب الطبيعى الذى يؤدى بدوره إلى تغير تطورى . فقد تنشأ قابلية الأفراد للتباين ، كما ذكر من قبل من عمليتى الانعزال وإعادة ترتيب الجينات التى كانت موجودة اصلا ، والتى تنشأ نشأة جديدة بطفرة تحدث بين أفراد النوع الواحد ، إذا ما غلب بينها التلقيح الخلطى .

فالمظاهر التركيبية العديدة ، وكذلك العوامل الاخرى التى تعوق عملية التلقيح الذاتى تعتبر من العوامل الملائمة ذات النفع ، لان التلقيح الخلطى يؤدى إلى عدم التماثل بين الافراد وإلى زيادة فى تباينها تخضع لعملية الانتخاب .

أما فى التلقيح الذاتى فقد تتماثل الافراد تماثلا يكاد يكون تاما . وكما سبق وأن أشرنا ، يتسبب التلقيح الذاتى (شكل : 16 ـ 9) الجارى بين افراد متباينة اللواقح فى إنقاص عدد هذه الافراد الى نصف عددها الأصلى ثم الى ربع العدد الأصلى إذا تكرر هذا التلقيح ، وهكذا فى كل جيل من الاجيال المتتابعة . ويعمل الانتخاب الطبيعى الى حد ما على استبعاد الجينات الضارة التى توجد فى حالة متماثلة ، ويتساوى أفراد العشيرة وتصبح على درجة كبيرة من التنسيق . فالتكاثر التزاوجى اذا تم عن طريق التلقيح الذاتى فقط يعادل فى جوهره التكاثر الخضرى بالنسبة لما يحدث من تباين بين الأفراد فيهما . ففى مثل هذه الحالات لا يتم من التباين إلا ما تحدثه طفرات جديدة .

ومن المرجح أن حالة التلقيح الخلطى هى الأقدم ومنها نشأت الأنواع التى تلقح تلقيحا ذاتيا فى اتجاهات عديدة ، يكون كل اتجاه منها مستقلاً عن الآخر . وفى النباتات التى يتم التلقيح فيها بصورة طبيعية بعملية التلقيح الذاتى ، لا يعتبر هذا النوع ضارا بالنباتات بل هو فى الحقيقة قيمة من قيم بقائها . فالأرجح أن يحدث هذا النوع من التلقيح فى هذه النباتات لا أن يحدث فى نباتات أخرى تعتمد على التلقيح الخلطى . فالتلقيح الذاتى ذو فائدة للنباتات خصوصا الحولية منها . فقد تترعرع الأنواع التى لا تلقح تلقيحا ذاتيا لفترة طويلة من الزمن ، ولكن على فرض عدم قابليتها للتباين ، ولا يكتب لها البقاء إذا ما تغيرت البيئة وعجزت عن الانتشار فى البيئة الجديدة بسبب افتقارها إلى تراكيب جينية جديدة تلائمها .

ومع ذلك يندر بل قد لا يحدث بتاتا أن تتلقح كل الأفراد تلقيحا ذاتيا . ففى النباتات المزروعة التى تلقح تلقيحا ذاتيا ، مثل الشعير والشوفان والقمح والكتان وفول الصويا والفاصوليا والتبغ وكثير من النباتات البرية ، يحدث أحيانا أن يتم التلقيح الذاتى بنسبة مثالية تبلغ 1 ـ 3 فى المائة ، وفى النباتات البرية ، يعمل التلقيح الذاتى على نقاوة أو تماثل أفرادها بصورة دائمة ، وهذا بدوره يعوق بقاء الانواع ، ومن المحتمل ان مثل هذه الانماط قد تم استبعادها . وفى كل جيل ، أو ربما على فترات ، تنتج بعض البذور بهجائن تنشأ بين نباتات تختلف فى طرازها الجينى . ونتيجة لعملية الانعزال ، تنتج طرز جينية جديدة تكون أكثر ملاءمة للبيئة

من الأبوين اذا ما تغيرت هذه البيئة ، أو تكون أقدر من أجدادها على البقاء في بيئتها الجديدة .

التطور والملاءمة Evolution and Adaptation

نتيجة للعمليات التطورية تتلاءم أنماط جديدة من الحياة مع بيئاتها . فكلمة الملاءمة تشمل اكتساب كل الصفات والخصائص التركيبية والفسيولوجية والكيميائية الحيوية التي تعين الكائنات الحية على البقاء والتكاثر في بيئة خاصة . وأحيانا ينظر الى الملاءمة على انها ظاهرة بين الأفراد كل فرد على حدة ، ولكن يلزم تصورها على انها نتيجة للتغيرات التي تحدث في أفراد العشيرة Populaion ككل (اللوحة ـ 8) . ويمكن تعريف العشيرة بأنها مجموعة من الأفراد المنعزلة نسبيا ، تتكاثر داخليا فيما بينها وتتبع جميعها نوعا واحدا من النبات ، ولجميع هذه الافراد ما يسمى «بالتجمع الجينى» gene pool مشترك ، وهو العدد الكلى للجينات فى الزيجوت zygote التى تكون افراد العشيرة . فالعشيرة لها صفة الدوام في كل من الزمان والمكان ، بينما لا يستمر الفرد غير جيل واحد ولا يحتوى إلا على جزء يسير من التجمع الجينى للعشيرة ككل . وعليه فان الفرد ليس إلا حاملا للجينات ، التى تظل متاحة للافراد الاخرى من العشيرة عبر عملية التكاثر التزاوجى ، وقد تختلف العشيرة في الحجم من بضعة أفراد إلى آلاف أو ملايين منها ، وقد تكون قبيلة كاملة ، وقد تختلط أفرادها بغيرها من الأنواع الأخرى .

والملاءمة هى نتيجة لثلاث عمليات أساسية هى : (1) الطفرة ، (2) ما يتلوها من تراكيب جديدة ، (3) ما تقوم به البيئة من عملية انتخاب للتغيرات الوراثية الناتجة . وبالرغم من أن لكل جين من الجينات دوره في عملية الملاءمة إلا أن الدور لا يتحقق إلا بالاشتراك مع غيره من الجينات التى توجد فى الطراز الجينى . وعلى ذلك تتوقف قيمة الطفرة داخل العشيرة على مدى ما بها من جينات فى الطراز الجينى . وتعمل عملية الانتخاب على الطراز المظهرى ، الذى يتحدد بدوره بالطراز الجينى ، وأنماط الجينات التى يعاد ترتيبها من الجينات المختلفة فى التجمع الجينى هى التى تتحكم فى هذا الطراز الجينى . ويكتب البقاء لعدد معين من الطرز المظهرية وبسبب تكاثر هذه الطرز ، تساهم بجيناتها في الأجيال التالية ، بنصيب أوفر من نصيب منافساتها التى هى أقل ملاءمة منها .

ويمكننا الآن تصور عشيرة استقرت طويلا فى بيئة خاصة . فهذه الطرز المظهرية التى يكتب لها البقاء تكون قابلة للتغير وعلى درجة كبيرة من عدم التماثل بحيث لا يوجد منها طرازان جينيان متشابهان تماما ، وبالرغم من ذلك فإن مدى التغير فى هذه الطرز ينحصر فى حدود ما صلح منها ومدى لياقته للتلاؤم مع البيئة . وتستمر طفرات جديدة فى الظهور ، يضاف اليها تراكيب جينية جديدة تعمل بدورها على تكوين طرز مظهرية جديدة ، ولكن هذه الطرز يحتمل ان تكون عديمة النفع فتستبعد بعملية الانتخاب طالما وجدت فى هذه البيئة الخاصة . ولا يكتب لها البقاء إلا اذا تعرض أفراد العشيرة إلى تغيرات بيئية بطيئة . وفى مدى أجيال متتابعة تتلاءم أفراد العشيرة مع البيئة الجديدة ، وتستمر الطفرات فى الظهور ، وتندمج الطفرات الجديدة والقديمة معا لتكون تراكيب جينية جديدة قادرة على انتاج طرز مظهرية أصلح للبقاء والتكاثر تحت الظروف البيئية الجديدة . ولكن كيف تظهر انسب هذه التراكيب الجينية الجديدة ؟

رأينا أن معظم الطفرات ضارة ، كما رأينا أن معظم التراكيب الجينية غير ملائمة . وتشمل عملية الملاءمة تغيرا فى عدد كبير من الصفات . ولما كانت عمليتا ظهور الطفرات وتجديد التراكيب الجينية تحدثان من قبيل الصدفة، فلا يحتمل أن تنشأ أصلح التراكيب الجينية ايضا من قبيل الصدفة وحدها . ولو أن استمرار عملية الانتخاب يعمل على استبعاد التراكيب الجينية الموجودة فى غير الأصلح من الأفراد ، فيبقى نسلها أقل من نسل الأصلح منها ، إلا أنها لا تنتج التراكيب غير المحتملة من الصفات التى ترسم الكائن الحى المتلائم مع البيئة . فاستبعاد الجينات غير المناسبة والتراكيب الجينية غير الصالحة لا يكفل وجود التراكيب الجينية الصالحة .

ولكن عمل الانتخاب يتعدى عملية استبعاد غير الأصلح من الأفراد . فيمكن تصور علاقة الانتخاب بالملاءمة وتطورها على أنها علاقة إيجابية وليست علاقة سلبية فقط . ويرجع ذلك الى أن الانتخاب يعمل على الحفاظ على الجينات

والتراكيب الجينية التى تعمل بدورها على تحسين الملاءمة ، وذلك لان النسب المئوية أو التردد النسبى لمثل هذه الجينات الملائمة تتجه نحو الزيادة جيلا بعد جيل . فإذا مازاد التردد النسبى ، زاد الاتجاه نحو تجمع مثل هذه الجينات وزيادتها فى أفراد العشيرة . وعلى ذلك فعملية الانتخاب هى بمثابة حافز يعمل على زيادة نسبة الأفراد التى تحتوى على طفرات وتراكيب لطفرات تعمل بدورها على تحسين قابلية الافراد للتلاؤم مع البيئة . فالامثل من هذه التجمعات هو الذى يتاح له أن يعاد تجميعه وانتخابه مرات ومرات . وقد عبر عالم الوراثة الانجليزى الشهير R.A. Fisher عن الدور الابداعى الذى تقوم به عملية «الانتخاب الطبيعى» ببيان غالبا ما يستشهد به وهو أن الانتخاب الطبيعى هو أحد الآليات الميكانيكية غايته استنباط اقصى درجة من درجات عدم الاحتمال .

وعلى ذلك فالتطور ليس عملية اعتباطية كما أن الملاءمة وهى مأثرة التطور ليست من العمليات العرضية التى تحدث مصادفة . ولقد بات الآن واضحا أن الطفرات لا تحدث من أجل أن ينتفع بها الكائن الحى ، فهى لا تحدث استجابة لما يحتاجه فى الحاضر أو ما يتوقعه فى المستقبل ، كما أنها لا تحدث استجابة لاحتياجات بيئة خاصة . والكائنات الحية لا تلائم نفسها للبيئة عن قصد أو غاية ، فهى تتلاءم مع البيئة إذا كانت جيناتها المناسبة ، وكذلك تراكيبها الجينية الفضلى فى العشيرة قد تم الحفاظ عليها بالانتخاب الطبيعى إلى الحد الذى تصبح فيه أكثر فاعلية من حيث تكاثرها فى البيئة الموجودة بها .

التطور واصل الانواع : Evolution and the Origin of species

كان اللغز المحير للمفكرين منذ عدة قرون هو البحث فى أصل الأنماط العديدة (الأنواع) من الكائنات الحية وكيف نشأت . فقد يتعرف كثير من الناس على هذه المجاميع النباتية مثل انواع القيقب maple وانواع البلوط oaks والجنتيانات gentians والسماقات sumacs والخلنجيات الزرقاء blueberries وقضبان الذهبيات goldenrodes والسوسنيات Irises والخردليات mustards واللبوخيات milkweed والصفصاف willows والحور poplars . ولكن هذه المجاميع أو الأجناس تتكون بذورها من أنماط مختلفة من اللوبين والخردل والبلوط وهذه الأنماط المختلفة هى التى تعتبر أمثلة للانواع . وكان الشغل الشاغل لعلماء الوراثة وعلم الخلية والتقسيم وكذلك الدارسين للمسائل التطورية منذ عهد داروين ، خصوصا أثناء العقود الاخيرة من السنين حيث تم تعديل ما وجده وفسره على ضوء المبادىء المندلية للانعزال وإعادة التركيب ، كان الشغل الشاغل لهم جميعا هو البحث عن أصل هذا النوع .

وقد اعترضت دراسة الانواع واصلها عديد من الصعوبات . فبعض الانواع يمكن تحديدها بشكل قاطع ولكن البعض الآخر من الانواع يفصلها عن غيرها مما لها به صلة انماط وسطا بينها . وقد تمثل هذه الانماط انواعا مؤقتة حيث مازالت الانواع مستمرة فى الظهور فى الوقت الحاضر ، كما كانت تنشأ وتظهر فى الماضى . الا ان معظم التغيرات التطورية تبدو بطيئة بحيث لا تظهر واضحة فى مدى قصير من الوقت ، لذلك درست هذه المعضلة بطريقة غير مباشرة . تزرع النباتات فى حدائق التجارب ، ويدرس ما بها من طفرات وكروموسومات ، وتجمع ويدرس توزيعها ، وبذلك يمكن فى الغالب استنتاج تاريخها التطورى بصورة معقولة . ولا يوجد تعريف للنوع مجمع عليه ، ولكن يمكن تعريفه بصورة مثالية بانه مجموعةمن الافراد يمكن تمييزها من حيث الشكل والهيئة عن غيرها من الانماط قريبة الصلة بها ، وهذه الافراد لاتهجن او تهجن بصعوبة مع الانواع قريبة الصلة بها . فكل الانواع الموجودة والتى تعيش حاليا نشأت من انواع سبق وجودها ، ولكن العوامل البيئية وكذلك الكائنات الحية هى فى واقع الامر فى حالات عظيمة من التعقيد بحيث لايوجد حل واحد يفسر معضلة اصلها .

وطبقا للآراء الحديثة تصنف الآليات الاساسية التى تؤدى الى تكوين الانواع النباتية الجديدة الى مصدرين جوهريين هما : (1) الانعزال التكاثرى ، (2) وتهجين الانواع .

الانعزال التكاثرى : Reproductive Isolation

لتفسير اصل الانواع الجديدة فرض هذا الرأى وجود نوع قديم تنتسب اليه الانواع الجديدة ، وقد امتاز هذا

النوع بتلقيحه الخلطى وانه موزع فى منطقة واسعة ، ثم انفصل هذا النوع الى مجموعتين او اكثر من المجاميع الصغيرة . فاذا توالدت هذه المجاميع وانسلت فيما بينها وكان كل من هذه المجاميع معزولا عن الآخر بحواجز تكاثرية تعوق او تمنع عملية التهجين فيما بينها ، فقد تنشأ من كل مجموعة نوع جديد .

وعادة ما يسبق الانعزال التكاثرى انعزال مكانى ، اى انفصال طبيعى لافراد العشيرة سواء بمسافات او باوساط بيئية مختلفة داخل المنطقة نفسها . فالانعزال المكانى يمنع او يقلل من التلقيح الخلطى الذى يسمح باستمرار التبادل بين الجينات ، وعلى ذلك يؤدى هذا الانعزال الى تكوين عشائر تختلف وراثيا فيما بينها . فاذا ظهرت هذه الفروق بوضوح سواء فى الظاهر أو بصفة داخلية ، سميت هذه العشائر سلالات . ومع ذلك فالانعزال المكانى وحده لاينتج انواعا جديدة . فالاختلافات التى تميز الانواع وتفصل احدها عن الآخر هى نتيجة ملاءمة هذه الانواع للبيئات المختلفة . فهذه الاختلافات لاتثبت ولايحتفظ بها الا فى غياب التهجين بين الانواع . فاذا ما نشأت الآليات التكاثرية التى تعوق او تمنع التهجين امكن لهذه الاختلافات ان تثبت ولو فى غياب الانعزال المكانى . ومثل هذه الآليات الانعزالية للتكاثر اما خارجية او داخلية . ومن بين الآليات الخارجية اختلاف فصول التزهير وكذلك التحورات التركيبية للزهرة التى تمنع التلقيح الخلطى بين العشائر . اما العوامل الداخلية فتشمل عدم انبات حبوب اللقاح الغريبة على الميسم او بطء نمو الانابيب اللقاحية لحبوب اللقاح الغريبة فى القلم ، كذلك عدم نمو الزيجوت للهجين الى اجنة طبيعية . وتراكم الطفرات التى تمنع او تعوق التناسل الداخلى هى فى العادة عملية تتم تدريجيا وتمتد عبر فترات طويلة من الزمن .

التهجين : Hybridization

الهجين اصطلاح يطلق بمدلولات مختلفة . فعلماء الوراثة يعرفون الهجين بانه نتاج تلقيح بين فردين يختلفان فى زوج او اكثر من الجينات . وطبقا لهذا التعريف يعتبر هجينا ما ينتج من افراد النوع الواحد اذا ما لقحت فيما بينها تلقيحا خلطيا . اما من وجهة نظر اصل الانواع فيمكن تعريف الهجين بانه تلقيح بين افراد تنتمى الى انواع مختلفة او تنتمى الى سلالات سبق عزلها . وبالرغم من الآليات الانعزالية ، فالتهجين يحدث فى الطبيعة ، وتبين ان تكوين مثل هذه الهجائن اكثر شيوعا مما كان يظن من قبل . فنرى عديدا من الهجائن فى السراخس ، وفى المخروطيات معروفة جيدا ، وقد جمعت هجن النباتات الزهرية فى قائمة طويلة . ويعتقد ان عملية تهجين الانواع لها اهميتها فى انتاج انماط جديدة من حياة النبات . بالرغم من ان الدور الذى تقوم به هذه العملية اقل اهمية من نظيره فى الانعزال التكاثرى .

وقد تنتج الهجائن بين افراد ليست بينها صلة وثيقة ، ولكن ما بينها من توافق يكفى لانتاجها ومثل هذه الهجائن عقيمة فى العادة او ان جزءا منها فقط هو الخصب ، كما ان انتاجها من البذور يقل بشدة او لاتنتج بذورا الا احيانا . وسبب مثل هذا العقم هو اختلافات بين جينات وكروموسومات الوالدين ، تؤثر على عملية الانقسام الاختزالى فتجعلها تتم بصعوبة او لاتتم بتاتا ، او تمنع الامشاج من تأدية وظيفتها بصورة طبيعية . وبالرغم من ذلك فالبذور التى تحملها مثل هذه الهجائن ذات اهمية من وجهة نظر اصل الانماط الجديدة . وفضلا عن ذلك فافراد الجيل الاول F_1 للهجائن يمكن تلقيحها تلقيحا رجعيا باحد الوالدين ، ويحتمل ان تكون سلالة مثل هذا التلقيح اخصب من السلالة الناتجة من تلقيح فردين من افراد الجيل الاول F_1 لهذه الهجن . فمثل هذه التلقيحات تؤدى ، بعد عمليتى الانعزال واعادة تكوين تراكيب جديدة ، الى اختلاف كبير فى التجمعات الجينية التى تتأثر بعملية الانتخاب الطبيعى . وبالرغم من ان معظم هذه التراكيب تستبعد الا ان بعضها يتفوق فى تلاؤمه مع الاوساط البيئية بشكل افضل مع اوساط لم تكن موجودة وميسرة من قبل . واذا ما استبعدت هذه التراكيب استبعادا تكاثريا ، تميزت الى انواع جديدة .

التضاعف الكروموسومى : *Polyploidy*

فى مقابل هذا التطور البطىء للانواع الجديدة من الهجن كما هو موضح اعلاه ، قد تنشأ الانواع الجديدة فى خطوة واحدة عقب عملية التهجين بين الانواع اذا ما نتج من هذه

العملية هجين متعدد المجموعة الكروموسومية . ويعتبر التضاعف الكروموسومى حالة فيها تحتوى خلايا الجيل السبورى على اكثر من مجموعة كروموسومية . فقد وجد فى النباتات ذات التضاعف الكروموسومى ثلاث او اربع او اكثر من المجاميع الكروموسومية ، ويطلق على مثل هذه النباتات ثلاثية المجموعة الكروموسومسة (3n) او رباعية المجموعة الكروموسومية (4n) او خماسية المجموعة الكروموسومية (5n) او سداسية المجموعة الكروموسومية (6n) وهكذا ، فجميع هذه الاعداد الكروموسومية هى غالبا مضاعفات لعدد احادى من الاعداد الكروموسومية وحالما اكتشفت النباتات ذات التضاعف الكروموسومى اتضح ان مثل هذه الانماط النباتية لابد ان تكون قد اشتقت اصلا من نباتات ثنائية العدد الكروموسومى او قد ثبتت هذا الاستنتاج مرارا وتكرارا . ويطلق على اصل الانماط الجديدة بعملية التضاعف الكروموسومى اسم التطور الجانح Cataclysmic evolution .

اكثر انماط النباتات ذات التضاعف الكرووسومى شيوعا هى النباتات رباعية العدد الكروموسومى ، وتنشأ هذه النباتات بتكرار العدد الكروموسومى مرتين اثناء بعض الاطوار فى تاريخ حياة النبات . ومن المعروف ان هذه التثنية تحدث تلقائيا ، ومع ذلك قد تتم بطريقة اصطناعية . ومن المحتمل ان اكبر الاسباب شيوعا لهذه التثنية هو عدم حدوث الانقسام الاختزالى فى الخلايا الامية السبورية لافراد الجيل الاول F_1 للهجين ، مما يؤدى الى تكوين امشاج ثنائية المجموعة الكروموسومية . النبات رباعى المجموعة الكروموسومية ينتج من اندماج مشيجين من هذه الامشاج . وينشأ النبات ثلاثى المجموعة الكروموسومية عادة من اندماج مشيجين احدهما ثنائى المجموعة الكروموسومية والآخر احادى المجموعة الكروموسومية . فمثلا فى حين ان معظم اصناف التفاح التجارى ثنائية المجموعة الكروموسومية بها 34 كروموسوما ، الا ان غيرها من الاصناف مثل البولدوين baldwin ، وجر افنستين gravenstein بها 51 كروموسوما فى خلاياها الجسمية . وهذه الاصناف ثلاثية المجموعة الكروموسومية ربما نشأت من اندماج بيضة غير مختزلة او ثنائية المجموعة الكروموسومية بها 34 كروموسوما من حيوان منوى (سبرم) به 17 كروموسوما ، وهى المجموعة العادية من الكروموسومات وقد تحدث التقنية فى الزيجوت أو الخلايا الجسمية مثل خلايا الجنين الاولى والبرعم الخضرى . وفى مثل هذه الحالات يتكرر العدد الكروموسومى مرتين فى الانقسام غير المباشر لانه لايتكون جدار جديد للخلية وبذلك تحتوى النواة الجديدة على 4n من الكروموسومات . وتثنية العدد الكروموسومى فى خلايا البرعم الخضرى قد يؤدى الى فرع رباعى العدد الكروموسومى ، اما بقية اجزاء النبات فتظل ثنائية العدد الكروموسومى .

والتضاعف الكروموسومى هو حالة واسعة الانتشار فى المملكة النباتية . فتوجد فى بعض الطحالب ، وعدد من الحزازيات ، ولكنها نادرة فى الفطريات . وتخدث هذه الحالة فى انواع موزعة بين النباتات الوعائية فى مجاميعها مثل ذيل الحصانيات horsetails والسراخس والمخروطيات والنباتات الزهرية . وقد قدر احد الثقاة ان عدد الانواع المتعددة الكروموسومات فى كاسيات (مغطاة) البذور يبلغ حوالى 30 الى 35 فى المائة من عددها الكلى ، بينما يعتقد آخر ان النسبة اعلى من ذلك . وتبين الدراسات ان التضاعف الكروموسومى Polyploidy نادر نسبيا فى كاسيات البذور الخشبية ، واكثر شيوعا نوعا ما فى الاعشاب الحولية ، ولكنه يغلب فى الاعشاب المعمرة . ويندر التضاعف الكروموسومى فى الحيوانات ، فقد وجد فى الجمبرى brine shirmp الذى يعيش فى المياه المالحة وبعض انواع السلامندر salamanders وبعض انواع البق sowbug وقليل من الحشرات ، والسمك ، ويحتمل ان يكون التضاعف الكروموسومى فى المملكة الحيوانية قليل الاهمية من الوجهة التطويرية .

ويصنف التضاعف الكروموسومى عادة إلى مجموعتين هما

1) التضاعف الذاتى autopolyploids الذى ينشأ من تعدد الكروموسومات فى أفراد النوع الواحد ، وقد يتم هذا التضاعف فى هذه الافراد عقب التلقيح الذاتى أو عقب التلقيح الخلطى بين أفراد نوع واحد من النباتات . والنباتات ذات التضاعف الذاتى تكون عادة عقيمة نتيجة لتعدد الكروموسومات .

(2) التضاعف الخلطى allopolyploids ويختلف عن الأول

فى أنه ينشأ عقب عملية التهجين بين الأنواع . فإذا تكرر العدد الكروموسومى للهجين مرتين صارت هذه الهجن عادة خصبة وتنتج أنسالا نقية فيما بينها . ولما كانت هذه الهجن وسلالاتها محددة تحديدا واضحا فإنها تعتبر انواعا جديدة ، لأن لها خصائص تركيبية وفسيولوجية تختلف عن الأنماط قريبة الصلة بها . وفضلا عن ذلك فلا تتلقح هذه الأنسال بأحد الأبوين الأصليين ثنائى العدد الكروموسومى ، وإذا ما حدث هذا التلقيح ، ونادرا ما يحدث ، فإنها تكون هجنا تامة العقم ، او عقيمة بدرجة كبيرة . وأنجح الانواع ذات التضاعف الكروموسومى هى النباتات ذات التضاعف الخلطى .

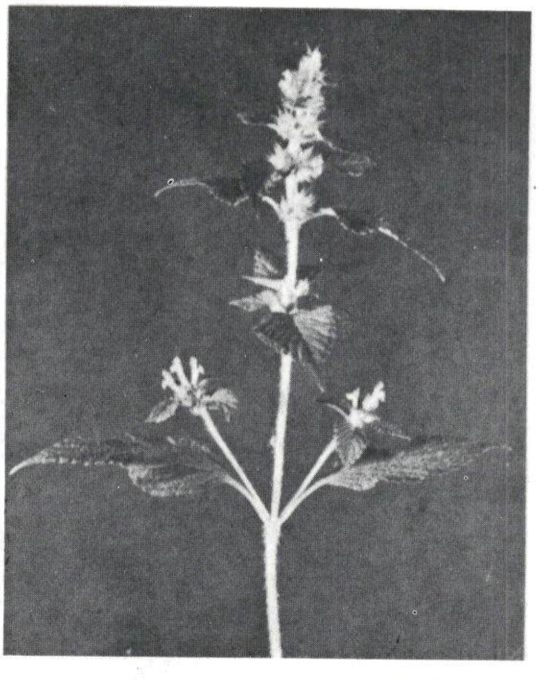
ويساق نبات الحبل او نجيل المستنقعات (Spartina townsendii) كمثل تقليدى للتضاعف الخلطى الطبيعى . وهذا النبات طويل ومعمر وذو ملمس خشن وبه ريزومات زاحفة . وقد شوهد هذا النبات أول ما شوهد فى جنوبى انجلترا عام 1870 ولم يمض عام 1906 حتى انتشر سريعا وغطى آلاف الأفدنة على طول الساحل الجنوبى لانجلترا ، ثم عبر القنال الانجليزى بعد ذلك وهو يوجد الآن بكثرة على طول الساحل الفرنسى . ويوجد من الادلة الراسخة ما يثبت أن هذا النوع قد نشأ فجأة من تثنية العدد الكروموسومى عقب عملية تهجين وقعت بين النوع المسمى علميا مارتيما (Spartina maritima) وبه 2n = 60 كروموسوما وهو نوع أوروبى واسمه المحلى نجيل الحبل ، وبين نوع آخر اسمه العلمى (Spartina alternifolia) وبه 2n = 62 كروموسوما بعد أن دخل صدفة إلى انجلترا من امريكا الشمالية . وقد سلكت الكروموسومات طريقا شاذا ، فقد وجدت أفراد عقيمة للجيل الاول F1 لهجين به 2n = 62 كروموسوما ، وهذا العدد نتيجة لاندماج مشيجين أحدهما به n = 30 كروموسوما والآخر به n = 32 كروموسوما . وهذا العدد الثنائى من الكروموسومات إذا ما تكرر مرتين فى الانقسام الاختزالى ، فإنه يعطى عددا ثنائيا آخر من الكروموسومات 2n به 124 كروموسوما . وقد وجد بالفعل أن عدد الكروموسومات فى خلايا جسم النوع (Spartina townsendii) هو 120 ، 122 أو 124 . ويعتبر هذا المثل من أحسن الأمثلة التى تساق للدلالة على حالة تضاعف خلطى عرفت نشأتها بصفة تلقائية فى الزمن الغابر .

ويوجد مثال آخر للتضاعف الخلطى رباعى العدد الكروموسومى هو النوع المسمى (Iris versicolor) ، واسمه المحلى العلم الأزرق وموطنه شمالى الولايات المتحدة وكندا ، ويمتد غربا إلى ولايتى منيسوتا ووسكنسن . وقد تبين من دراسة هذا النوع أنه أنسال خصبة نقية نشأت من تهجين النوع ، المسمى (Iris virginica) واسمه المحلى العلم الأزرق الجنوبى ، وبين النوع المسمى (Iris setosa) واسمه المحلى العلم الأزرق القطبى . والنوع (Iris virginica) 2n = 72 ويوجد فى ولاية فرجينيا ويمتد جنوبا على طول الساحل الاطلنطى ، كما يوجد فى البحيرات العظمى ويمتد جنوبا إلى ولايتى تكساس والاباما . أما النوع المسمى (Iris setosa) 2n = 36 وأصنافه فيوجد فى المناطق القطبية وتحت القطبية . والعدد الكروموسومى للنوع المسمى Iris versicolor هو 2n = 108 كروموسوما وهو العدد الذى كان متوقعا إذا ما اعتبرنا هذا النوع رباعى العدد الكروموسومى ، نشأ من تهجين النوعين السابقين . ويعتقد أن هذا النوع نشأ اصلاً اثناء العصر الجليدى فى المنطقة العامة للبحيرات العظمى حينما نما النوعان الأبوان فى نفس المنطقة . والرأى القائل بأن التنويع قد نشأ عبر التضاعف الكروموسومى لم يتأيد بعد فى هذه الحالة بصورة تامة . ومع ذلك فهذا الرأى جدير بالملاحظة حيث إنه يفرض التضاعف الكروموسومى كأحد العوامل الهامة فى عملية التنويع عبر السنين .

ومن الأدلة التى تثبت أصل عدد من الأنواع وطبيعتها ذات التضاعف الكروموسومى الخلطى ما أمكن افتراضه من وجود أسلافها ثنائية العدد الكروموسومى ومحاولة تخليق هذه الانواع تخليقا اصطناعيا من هذه الأسلاف . ومن أوائل هذه المحاولات ما قام به عالم الوراثة السويدى ميونتزج Muntzing فى الاعوام 1924 ـ 1932 . فقد درس أنواعا اوروبية من النباتات تعرف باسم القريصات القنبية hemp nettles ، وهى من الأنواع الحولية وتتبع العائلة الشفوية mint family وتقع تحت الجنس المسمى Galeopsis . ومن نوعين من هذه الأنواع كل منهما به 2n = 16 كروموسوما ، استطاع ميونتزج أن يحصل بالتهجين على نوع ثالث منها . وهذا النوع الاصطناعى به 32 كروموسوما ، وعلى ذلك فهو رباعى العدد الكروموسومى . وفضلا عن ذلك فهذا النوع يتشابه فى خصائصه التركيبية الأساسية مع النوع الذى

والكرز الحريف وبعض انماط من التفاح والكمثرى loganberry والتوت الشوكى blackberry المزروع وجميع الداليات (البرية والمزروعة) وكثير من أصناف الورد والسوسنيات والزنابق والخزاميات والحلاحل وعدد من نباتات محاصيل الغلال والرعى مثل اقماح الخبز والبرسيم الحجازى . والتعدد الكروموسومى الذاتى لا ينتج على أكثر تقدير إلا أفرادا من نوع واحد تختلف فيما بينها ، أما التعدد الكروموسومى الخلطى فينتج عنه مباشرة أنواع جديدة متميزة ، وعلى ذلك فإنه يعتبر من العمليات التطورية الهامة . فالتعدد الكروموسومى الخلطى لا يظهر فيه تراكيب جديدة من الخصائص المختلفة للوالدين فحسب ، بل غالبا ما يحمل تراكيب جديدة مناسبة، وعقب عملية الانتخاب الطبيعى تبرز أنماط جديدة أقدر على التنافس أو على الأزدهار فى بيئات تختلف عن بيئات أسلافها . حيث انه فى كثير من الحالات يتسع توزيع هذه الأنماط جغرافيا وتصبح أقدر وأصلح للبقاء من غيرها تحت الظروف القصوى من درجات الحرارة وكمية الماء المتاحة لها فى التربة .

استحثاث التضاعف الكروموسومى *Induced polyploidy* : أصبح الآن استحثاث التضاعف الكروموسومى أو الحصول عليه بطريقة اصطناعية أداة هامة سواء فى الدراسات التطورية أو فى تجارب تربية النباتات . وقد استعمل فى الطرق الاولى لاستحثاث الكروموسومات على التضاعف ، عوامل كيميائية مثل هيدرات الكلورال chloral hydrate ، كما استعملت تغيرات قصوى سريعة من درجات الحرارة . ثم اكتشف فى عام 1937 أن الكولشيسين وهو من القلويات alkoloids أكثر فاعلية وانتظاما من اى عامل آخر . ويمكن الحصول على الكولشيسين من كورمات وبذور نبات الزعفران الخريفى واسمه العلمى (Colchicum autumnale) ويتبع العائلة الزنبقية . والتركيزات العالية من هذا العقار سامة للغاية ، أما إذا عرضت النباتات لفترات مناسبة من تركيزاته المنخفضة فقد تبين أنها تسبب تضاعف الكروموسومات فى كثير من النباتات . ويحدث هذا التضاعف أثناء الانقسام غير المباشر للخلايا . ويبدو الطور الأولى عادى فى مظهره ، ولكن فى الطور الاستوائى لا تتكون الخيوط المغزلية . وعلى ذلك لا تنفصل الكروموسومات ولا تتحرك نحو الأقطاب المتقابلة ، كما لا يتكون جدار خلوى جديد . تعود



شكل (17 ـ 6) نبات القريصات القنبية hemp – nettle (Galeopsis tetrahit)

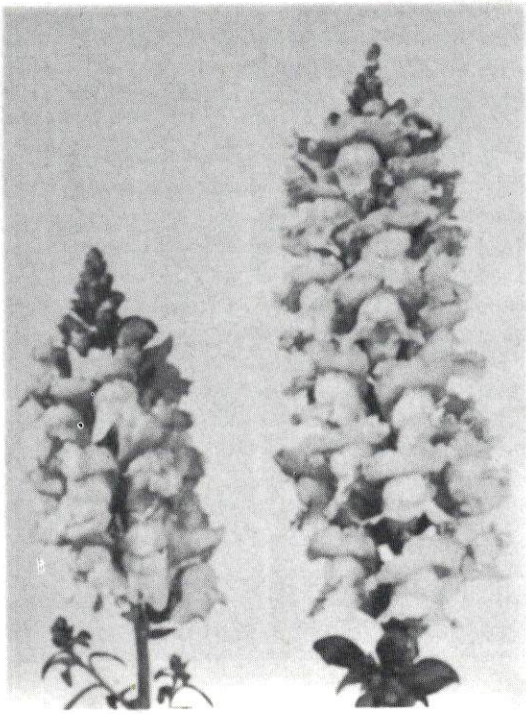
يحدث تكون الرباعية tetraploid هذه فى الطبيعة والظاهر فى الصورة خلق اصطناعيا بواسطة التهجين . وذلك باقحام صنفين آخرين .

يوجد فى الطبيعة ويتبع نفس الجنس المسمى (Galeopsis tetrahit) والذى ينمو فى اوروبا ، وقد أدخل إلى امريكا الشمالية حيث يعتبر من الأعشاب واسعة الانتشار (شكل : 17 ـ 6) . وقد بين ميونتزج . كما أوضح غيره ، أن الأنواع قد تنشأ بعمليتى التهجين وتثنية الكروموسومات . وقد قام ايضا عدد من الباحثين بتلقيح أنواع ببعضها تلقيحا خلطيا ، وحصلوا على أنواع جديدة خصبة متضاعفة الكروموسومات الخلطية ، ولكن ليس لها نظير فى الطبيعة .

ومن الممكن أن تضاف أمثلة اخرى عديدة إلى التعدد الكروموسومى . وكثير من معظم نباتاتنا المنزرعة يرجع أصلها إلى نباتات متعددة الكروموسومات . ومن بين هذه النباتات الموز والبن والبطاطا وقصب السكر ، وبعض أصناف من القطن والتبغ والفول السودانى المزروع والخوخ أو البرقوق

الكروموسومات المنقسمة من حيث بدأت إلى الطور البينى وتظل داخل الغشاء النووى الذى يغلف الآن ضعف العدد الأصلى من الكروموسومات ويمكن الحصول على نباتات ذات تضاعف كروموسومى ذاتى بمضاعفة عدد الكروموسومات بطريقة مباشرة ، أما النباتات ذات التضاعف الكروموسومى الخلطى فإنه يمكن الحصول عليها بنفس الطريقة عقب عملية التهجين . ويمكن معاملة البذور أو البادرات أو قمة الساق لنبات مسن بعقار الكولشيسن . كما يمكن وضع هذا العقار على البرعم الموجود فى ابط الورقة وذلك للحصول على فرع رباعى المجموعة الكروموسومية وقد يزيد التضاعف الكروموسومى الذاتى من حجم الأعضاء النباتية المختلفة ، وبه يمكن الحصول على أزهار وثمار كبيرة الحجم (شكل : 17 ـ 7) ، ويزيد هذا التضاعف من خاصية صلادة النباتات وصلابتها ، كما يغير موسم نضجها ، أو بمعنى آخر ، يعمل هذا العقار على تحوير وتبديل الخصائص التكوينية للنباتات . وغالبا ما يزيد هذا العقار من حجم الخلايا كل خلية على حدة . خصوصا الخلايا الحارسة وخلايا حبوب اللقاح ، وغالبا ما يستغل حجم هذه الخلايا إذا قورنت بحجم نباتات ثنائية المجموعة الكروموسومية وذات صلة بها ، للدلالة على وجود حالة التضاعف الكروموسومى الذاتى . وغالبا ما تكون النباتات ذات التضاعف الكروموسومى الخلطى ايضا اكبر وأقوى من الهجن ثنائية المجموعة الكروموسومية والتى نشأت منها ، ولكن لا ينطبق ذلك على كل الأحوال . وأهم مميزات النباتات رباعية العدد الكروموسومى التى يمكن الحصول عليها بطريقة اصطناعية هى أنه بمضاعفة عدد الكروموسومات تتجدد خصوبتها ، وتصبح هذه الهجن ميسرة لأغراض التربية والا تظل عقيمة . والنباتات الجديدة ذات العدد الكروموسومى المتعدد تصبح عادة عديمة النفع من الوجهة الاقتصادية إلا إذا ، اختبرت وتم انتخابها مثلها فى ذلك مثل الهجن العادية . ومع ذلك فالاعتقاد الموثوق به هو أن استحثاث التضاعف الكروموسومى أداة يمكن بها الحصول فى المستقبل على نباتات جديدة ذات نفع عظيم للانسان .

ولم يكن الغرض من الشرح السابق اعطاء فكرة تامة أو سرد القصة الكاملة عن التعقيد الذى يتضمن تكوين الأنواع الجديدة . ومع ذلك فالشرح السابق تضمن الخطوط العريضة المتفق عليها لتفسير آلية تطور الأنماط التى لاحصر لها من



شكل (17 ـ 7) التضاعف الكروموسومى polyploidy فى نبات انف العجل (snapdragon (Antirrhinum majus

ظهرت الازهار على يسار الصورة فى نبات ثنائى المجموعة اما الازهار الاكبر على اليمين فانتجت من نبات رباعى المجموعة بالمعالجة بالكولشيسين colchicine .

الحياة النباتية التى اثرت وجه كرتنا الارضية بما عليها من نباتات.

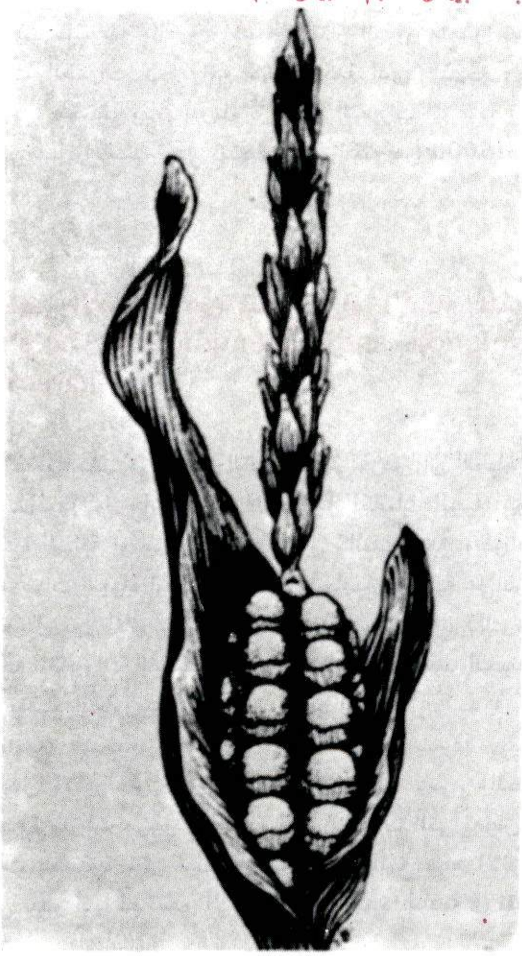
أصل وتطور النباتات المزروعة: Origin and Evolution of Cultivated Plants

وجه علماء النبات عظيم اهتمامهم الى اصل النباتات التى زرعها الانسان منذ القدم. ولم يقتصر هذا الاهتمام على هؤلاء فقط، بل اهتم بها ايضا علماء الآثار archeologists وعلماء الاجناس البشرية anthropologists وغيرهم ممن يهتمون بتاريخ الانسان وحضارة الجنس البشرى. وبسبب أن معظم طعامنا الاساسى مصدره نباتات نشأت فى عصور ماقبل التاريخ فان محاولة التعرف على أصولها هى مهمة فى

غاية الصعوبة. ومع ذلك وفى حين ان اصل كثير من أمثال هذه النباتات ظل غامضا، الا أن جهود مربى النباتات وعلماء الوراثة والرواد وغيرهم من العلماء فى العصر الحديث قد ألقى ضوءا وافرا على هذا الموضوع. فمعرفة أصل النباتات المزروعة تفوق فى مغزاها أهميتها الاكاديمية، فهى تكون وغالبا ماتكون، ذات أهمية عملية لمربى النباتات. فقد تستغل الجينات والتراكيب الجينية المعقدة الموجودة فى أسلاف النباتات المزروعة وأقرب اقربائها مثلا، فى عملية التهجين بقصد تحسين النباتات.

فمما لاشك فيه ان النباتات المزروعة، شأنها كشأن النباتات البرية، قد نشأت بفعل آليات تطورية مثل عمليات الطفرة، واعادة تراكيب وتكوينات جينية جديدة، والتهجين، ثم تلتها عمليتا التضاعف الكروموسومى والانتخاب. الا أن الاهتمام بهذه النباتات قد دفعها الى التطور بخطوات أسرع مما لو بقيت تحت الظروف الطبيعية. فالاختلافات التى لم تعط الا فرصا قليلة للبقاء تحت تأثير عملية الانتخاب الطبيعى قد تم الابقاء عليها بعملية الانتخاب الاصطناعى لنفعها وفائدتها للانسان. فهذه الاختلافات فى النباتات المزروعة قد تم حمايتها وصيانتها بالزراعة، كما تم بدرجة كبيرة استبعاد تنافسها مع غيرها من الانواع البرية. وتظهر هذه الحقيقة جلية واضحة، كما يظهر تأثير عملية الانتخاب الاصطناعى فى أن كثيرا من نباتات المحاصيل المزروعة مثل الذرة والقمح لايكتب لها البقاء الا اذا زرعها الانسان وحصدها، لانها غير معروفة فى الطبيعة. فبالزراعة ايضا يمكن ملاحظة افضل وانسب الطفرات والاكثار منها. وعملية التهجين، التى لها مغزاها كأحدى آليات التطور فى النباتات البرية، ربما تعتبر ايضا اكثر اهمية فى تطور النباتات المزروعة. فأثناء تجوال الانسان البدائى جمع بالصدفة بين نباتات لم يحدث تهجين بينها بسبب حواجز جغرافية. وبعد تنظيم تربية النباتات أمكن إنتاج أصناف جديدة فبعملية التهجين أمكن تجميع جينات من نباتات تم الحصول عليها من أجزاء متباعدة من العالم. فمما لاشك فيه أن عملية التهجين بين الانواع ومايصحبها من زيادة عدد الكروموسومات هى السبب، سواء فى الطبيعة أو تحت الظروف الزراعية فى منشأ كثير من الانواع الجديدة ذات النفع للانسان. فالأقماح والأقطان والتبوغ المزروعة هى أمثلة لمثل هذه الانماط المهجنة. فمثلا تم دراسة أقماح الخبز وهى سداسية العدد الكروموسومى بها $2n = 42$ كروموسوما، وعرف أصلها على وجه التحقيق، وقصة هذا الاصل معقدة بعض الشىء، ويبدو أن مثل هذه الاقماح هى النتيجة النهائية لسلسلة من التهجينات الطبيعية بين قمح بدائى ينمو بريا فى الشرق الأدنى وبين نباتين من النجيليات العشبية مازالت فى عموم تلك المنطقة. وهذه التهجينات التى حدثت صدفة منذ 10,000 عام مضت هى أصل ملايين من أفدنة القمح تزرع سنويا لتساعد فى إطعام البشرية. وقد أمكن معرفة القليل من أصل النباتات الاقتصادية الاخرى مثل الموز والكرنب والقطن وعباد الشمس والبنجر والبرقوق والشليك والذرة. والموطن الاصلى

شكل (17 ـ 8) رسم فنى للذرة البرية، استنبط من البقايا الحفرية (نسبة التكبير عن الحجم الطبيعى = 2).



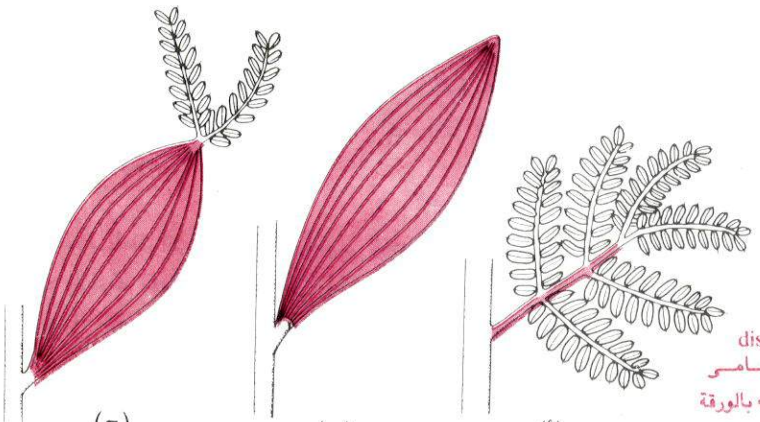
لنبات الذرة هما الامريكتان وبمساعدة الاكتشافات الاثرية التى تمت فى المكسيك أمكن تخيل واعادة بناء ماكانت عليه الاجزاء التكاثرية لاحد أسلاف الذرة البرية التى عاشت منذ حوالى 7000 عام (شكل: 17-8) وتتكون هذه الاجزاء من محور رفيع سنبلى الشكل يحمل فى أسفله أزهارا مؤنثة وفى اعلاه أزهارا مذكرة. والجزء السفلى، وهو مايسمى بالكوز، يبلغ طوله حوالى بوصة، ويحمل فى المتوسط 55 حبة، كل منها تغلف جزئيا بالقنابات الزهرية (قنابع) . أما الكوز فيحاط بدوره بعصيفات تفتح عند النضج فتسمح بانتشار الحبوب. وهذا التركيب الثنائى الجنس ربما كان يحمل طرفيا على أحد الابوين وعند الاهتمام بزراعة هذا النبات، انفصلت الاجناس عن بعضها، فالازهار المذكرة وهى السنبلة ظلت طرفية اما الكوز فأصبح فى وضع جانبى محمولا أعلى العود. وزاد عدد العصيفات ولكنها لم تنفتح عند النضج، وأضحت الحبوب ملتصقة بالكوز واصبح انتشار البذور متعذرا. وقد سببت الطفرات فى مواقع كثيرة، كما أدى التهجين بين سلالات مختلفة وبين أقرباء برية الى التغيرات المرغوبة فيها والتى عمل الانسان على انتخابها عبر اكثر من 5000 عام.

خواص الاسلاف بين تطورها او الابقاء عليها: Evolution and Retention of Ancestral Characters

اختفت منذ زمن طويل الظروف التى فرض ان الحياة قد نشأت فيها أول مانشأت. والان تنشأ الكائنات الحية سواء وحيدة الخلية او متعددة الخلايا من كائنات سبق وجودها. ومنذ بدأت الحياة أبقت الجينات والمجاميع الجينية على دوام الاتصال بين الافراد، والتغيرات التى نشأت بعد ذلك هى نتيجة للتحورات التى حدثت فى الجينات والتراكيب الجينية. ولم يتقدم التطور بأى حال من الاحوال بمعدل واحد فى كل المجاميع النباتية. فبعض المجاميع تغيرت بسرعة، بينما البعض الاخر بقيت فى الظاهر بدون تغير اساسى. والحالة الاخيرة مازالت موجودة وبخاصة فى الكائنات التى تعيش فى بيئات مستقرة مثل مياه المحيطات. فدراسة هذه الانواع التى يبدو أنها لم تتغير الا قليلا ذات فائدة عظيمة فى تقييم وتقدير التغيرات التى حدثت فى غيرها من الانواع او فى المجاميع الاكبر منها.

وأثناء تطور النباتات تتزايد التغيرات الصغيرة المتقطعة والتى تحدثها الطفرات. ومن بين آلاف الجينات التى توجد على كروموسومات النبات لايشترك فى تكوين الطفرات الا عدد قليل نسبيا منها، وهذا العدد هو الذى ينتج أنواعا جديدة او أنواعا يحتمل تلاؤمها مع البيئة بطريقة افضل. ويتم استبعاد طفرات تقع فى مواقع كثيرة، أما بقية الجينات التى لم تشترك فى هذه الطفرات فيبقى أثرها كما هو عبر الاجيال المتكررة وعلى ذلك، وحتى فى الانواع الاكثر قابلية للتغير، وتوجد خصائص ثابتة تشبه تلك الموجودة فى انماط الاسلاف. فعديد من الجينات التى كانت توجد فى الماضى تنتقل الى الحاضر، فتاريخ فرد عبر سلالاته يعتبر جزءا منه ككائن حى تماما كما يعتبر تكوينه من الزيجوت الى ان يصبح كائنا بالغا. والدراسة التفصيلية للانماط المتقدمة من النباتات اذا قورنت بغيرها الاقل تخصصا، تبين عمق غور عملية التطور وكيف تسير. فيوجد دائما ماهو أقدم ولكن يبدو انه هو الاخير والاحدث. وحيث أن جينات الاسلاف قد تم الحفاظ عليها، فمن المتوقع أن نعزو ظهور القسمات السلفية اليها. فمثل هذه التراكيب السلفية فى النباتات، وهى أحيانا اثرية او مختزلة بدرجة كبيرة، قد تظهر فى أى طور من أطوار تكوين النبات بصورة تعارض ontogeny، فقد تظهر فى الاطوار التكاثرية الاولى التى تسبق الجنين، أو فى الجنين نفسه، او فى جسم النبات الناضج، او فى أى طور آخر من اطوار حياة النبات. وقد يطلق على هذه القسمات اسم استبقاءات retentions الخصائص السلفية. وغالبا ماتشير مثل هذه الاستبقاءات الى التاريخ السلفى phylogeny للكائن الحى الذى يحويها.

وسنذكر فيما بعد وفى أماكن مناسبة عدة أمثلة على استبقاء الخصائص السلفية. ويكفى أن يساق هنا مثل واحد منها. ففى جنس السنط Acacia وهو أحد الاجناس الكبيرة الخشبية، ويتبع البقولية معظم الانواع لها اوراق مركبة ريشية ثنائية (شكل: 17-19) اما بقية الانواع فتحمل عند النضج مايبدو انه اوراق بسيطة (شكل 17-9ب) الا أن هذه التراكيب الشبيهة بالانصال تتكون من عنق مفلطح (يطلق



شكل (17 ـ 9) السنط Acacia
(أ) ورقة مركبة ريشية لنبات السنط الباهت discoloracacia
(ب) عنــق ورقــي phyllode لنبـات السنط الكــانتجــهــامــى (Acacia , cunninghamii) وهو العضو الوحيد الشبيه بالورقة فى النبات البالغ .
(جـ) جـزء من بادرة النبـات ويوضـح العنق الورقى الـذى ينتهى بـورقـة

عليها سيقان ورقية Phyllode) وجزء كبير من المحور الاساسى للورقة المركبة. ومما يثير عظيم الاهتمام هو أن البادرات والنباتات صغيرة السن من هذه الانواع تحمل اوراقا مركبة ريشية ثنائية وهى اوراق عادية، كما تحمل ايضا سيقانا ورقية، وبالاضافة الى ذلك تحمل تراكيب وسط بين الاوراق العادية والسيقان الورقية. ومن بين هذه التراكيب الوسطية سيقان ورقية تحمل على قمتها جزءا من ورقة مركبة (شكل: 17ـ9جـ) وحيث إن السيقان الورقية تعتبر دليلا على مايوجد فى هذا الجنس من تحورات، لذلك افترضنا ان الاسلاف من هذا الجنس كانت تحمل أوراقا مركبة ثم اختفت نتيجة لتغير تطورى. فوجود الاوراق المركبة وكذلك التركيبات الوسطية، كما فى الشكل (17ـ9جـ) فى النباتات صغيرة السن للانواع التى لاتحمل عند نضجها الا السيقان الورقية، يمكن تفسيره على أنه استبقاء للمظاهر السلفية.

الخلاصة Summary

1 ـ تم توضيح الفرق بين مبدأ التطور وهو من المبادىء القديمة وبين الدراسة العلمية لآليات التطور وهى من الدراسات الحديثة نسبيا.

2 ـ يعزى للعالم الفرنسى لامارك الرأى القائل بانتقال الصفات المكتسبة بالوراثة الى الكائن الحى اثناء عملية تكوينه. ففى النباتات اعتبرت التغيرات فى مثل هذه الصفات هى نتيجة مباشرة لتأثير البيئة عليها. اما فى الحيوان فقد ظن أن أى تغير فى البيئة يؤدى الى تغير فى متطلبات الحيوان واحتياجاته التى تؤدى بدورها الى تكوين تراكيب جديدة تفى بهذه المتطلبات وعلى اساس الاستعمال او عدم الاستعمال لهذه التراكيب يتوقف وجودها وتطورها او اختفاؤها فى الاجيال المقبلة.

3 ـ يرتكز مذهب دارون على الخصائص الاتية: (1) قابلية الكائنات الحية للتباين، (2) تنازع البقاء نتيجة لارتفاع معدل التكاثر فى معظم الكائنات الحية وكذلك. (3) الانتخاب الطبيعى وهوفعل البيئة على التغيرات الموروثة الذى يؤدى الى الحفاظ على الافراد التى تحمل تغيرات مناسبة واقصاء غيرها ذات التغيرات غير المناسبة.

4 ـ بالنسبة لاهمية ومغزى عملية الانتخاب الطبيعى لاتؤكد الآراء الحديثة على مجرد بقاء الفرد الملائم فحسب، بل على عملية تكاثره التى بها تنتشر جيناته الملائمة فى كل افراد العشيرة عبر الاجيال المتعاقبة. فأفضل مايتلاءم من هذه الكائنات هو الذى يكتب له البقاء بأعداد اكبر من غيرها الاقل فى تلاؤمها مع البيئة، فضلا على أنها قادرة على أن تخلف وراءها سلالات اوفر.

5 ـ قد يؤثر جين واحد اما على صفة واحدة او على عدة صفات وعلى العكس من ذلك قد تتأثر صفة واحدة بعدد من الجينات وتختلف بدرجة كبيرة فاعلية أى جين باختلاف التركيبات الجينية.

6 ـ تتسبب الطفرات وكذلك التراكيب الجينية الجديدة فى اختلاف الافراد بعضها عن بعض ولكى يتم التطور لابد من وجود هذا الاختلاف ولكن لايعزى اليه التغير التطورى.

7 ـ التكاثر التزاوجى فى النباتات التى تلقح عادة او احيانا تلقيحا خلطيا يعتبر من الوجهة التطورية على جانب كبير من الاهمية لانه يسعى عن طريق الآليات المندلية الى تكوين تراكيب جينية أوفر عددا مما قد يتكون فى حالتى التكاثر اللاتزاوجى او التلقيح الذاتى.

8 ـ تعتبر النباتات ذاتية التلقيح، على سبيل الحصر من النباتات متماثلة اللاقحات بالنسبة لمعظم أزواج الجينات، كما تعتبر قابليتها للتغير والتباين اكثر قليلا من تلك التى لاتتكاثر الا تكاثرا لاتزاوجيا. فمن الصعب ان يتكون فى مثل هذه النباتات وايضا فى تلك التى لاتتكاثر الا بالطرق الخضرية، تراكيب جينية مناسبة لأنه لايحتمل كثيرا أن تتبع مثل هذه التراكيب مسارا سلاليا واحداً. ومع ذلك قد يحدث التلقيح الخلطى أحيانا فى معظم النباتات ذاتية التلقيح.

9 ـ تحدث الملاءمة نتيجة لتصرف عملية الانتخاب الطبيعى إزاء التغيرات الوراثية ونتيجة لهذا التصرف يتم الاحتفاظ بالجينات المناسبة خصوصا بالتراكيب الجينية المناسبة فيزداد ترددها بين أفراد العشيرة.

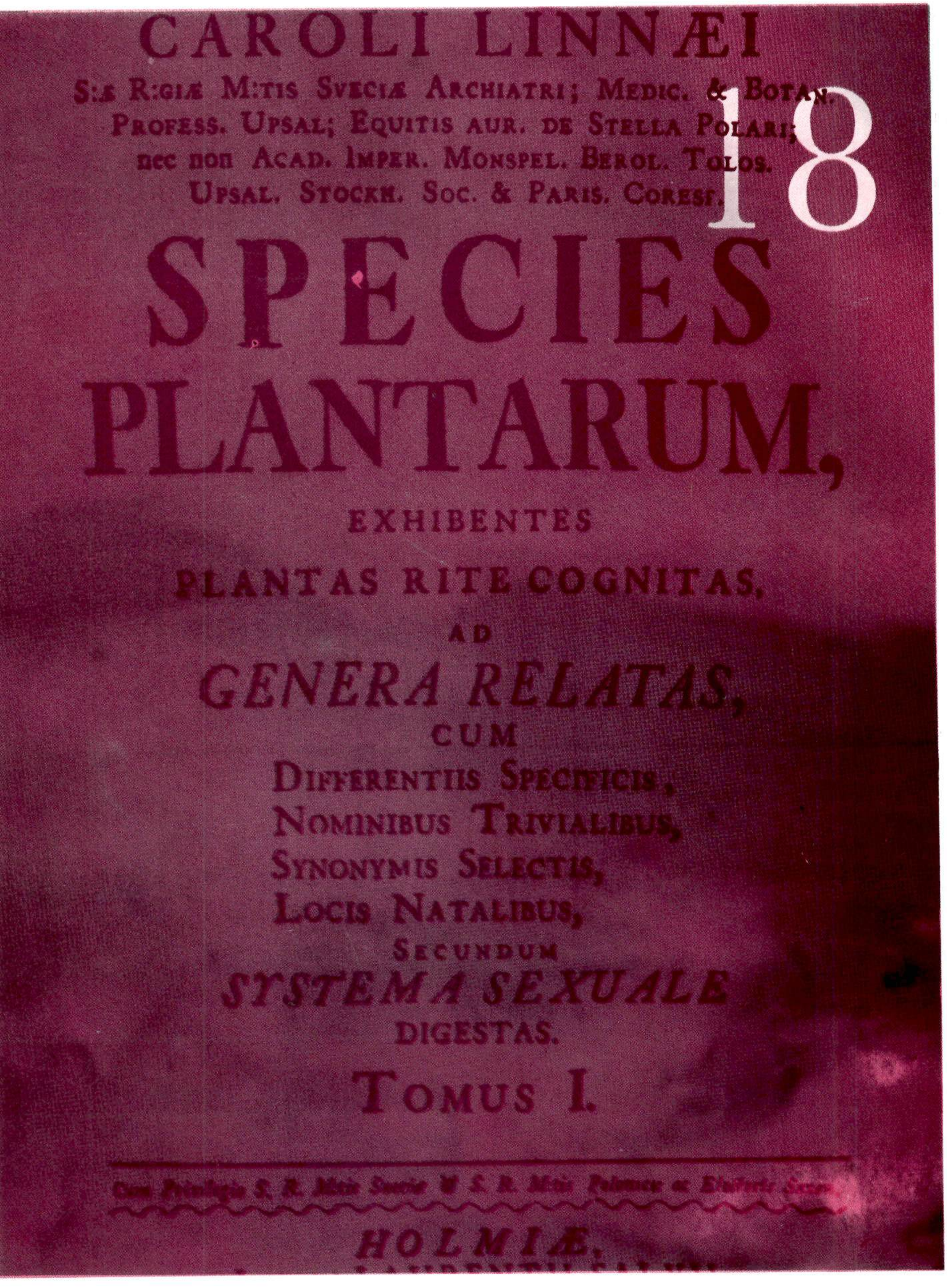
10 ـ قد تنشأ ببطء أنواع جديدة عقب عمليتى الانعزال والتهجين، أو قد تنشأ فجأة نتيجة لعملية التهجين ومايعقبها من تضاعف كروموسومى. وكل هذه الوسائل تشمل تلاؤما مع البيئات كما تتضمن ايضا تصرف الانتخاب الطبيعى إزاءها.

11 ـ يعتبر التضاعف الكروموسومى الخلطى اكثر أهمية من التضاعف الكروموسومى الذاتى. والتضاعف الكروموسومى باستعمال عقار الكولشيسين هو اداة هامة لتحسين النبات.

12 ـ قد تحتفظ الانسال بخصائص معينة للاسلاف ظهرت فى أحد أطوار تكوينها، وقد تفيد هذه الخصائص فى تفسير العلاقات التطورية.

أسماء النباتات وأنواعها
The Names and Kinds of Plants

18



CAROLI LINNÆI

S:æ R:GIÆ M:TIS SVECIÆ ARCHIATRI; MEDIC. & BOTAN. PROFESS. UPSAL; EQUITIS AUR. DE STELLA POLARI; nec non ACAD. IMPER. MONSPEL. BEROL. TOLOS. UPSAL. STOCKH. SOC. & PARIS. CORESP.

SPECIES PLANTARUM,

EXHIBENTES

PLANTAS RITE COGNITAS,

AD

GENERA RELATAS,

CUM

DIFFERENTIIS SPECIFICIS,
NOMINIBUS TRIVIALIBUS,
SYNONYMIS SELECTIS,
LOCIS NATALIBUS,

SECUNDUM

SYSTEMA SEXUALE

DIGESTAS.

TOMUS I.

Cum Privilegio S. R. Mtis Sueciæ & S. R. Mtis Poloniæ ac Electoris Saxon.

HOLMIÆ,

أسماء النباتات وأنواعها

The Names and Kinds of Plants

كان تصنيف النباتات وتسميتها ، ولايزال موضع الاهتمام . ومن هنا لانشك فى ان عمليتى التصنيف والتسمية قد بدأتا منذ فجر الحضارة . فمن منطلق ملاحظة الانسان لتعدد انواع النباتات ظهرت لديه الحاجة الملحة لتسميتها باسماء مختلفة ، التى هى على الاقل تسمية تلك النباتات التى هى موضع اهتمامه . ومع ذلك علينا ان نشير الى ان منحى الانسان الاول فى اطلاق الاسماء لم يكن يتعدى المنحى الفكرى ، ولا غرو فى ذلك فلم يكن يستهدف غير التفريق بين النباتات التى يعتمد عليها فقط . وكان هذا الاعتماد حيويا للغاية ، اذ شكلت تلك النباتات اهم مصادر تلبية حاجاته من تلك المواد الى كانت ضرورية من اجل المحافظة على بقائه . ومن هنا تبرز ضرورة اضفاء الاسماء على تلك النباتات فى سبيل التعبير عنها اثناء الاتصال بالاخرين من اجل الحصول عليها . ويمكن الوقوف على صورة مماثلة فى عصرنا الحالى تتبلور فى تلك الاسماء التى تطلقها الشعوب التى لم تنل حظا وفيرا من الحضارة على مجموعات النباتات التى تشكل ركنا كبيرا من اركان تلبية حاجاتها . من هنا نجد ان اسماء النباتات بدأت فى الظهور فى عقل الانسان وعلى لسانه وليس فى الكتب .

مع تعاظم الحضارة بشكل عام وتنامى المعارف بصورة خاصة ، وبالذات تلك المعارف والعلوم التى اهتمت بفوائد النباتات واستخداماتها غذاء وكساء ودواء ، ازدادت ضرورة اطلاق اسماء على النبات بشكل متعاظم . واخيرا بعد ان تزايدت اعداد النباتات المعروفة وبعد ان جلب الرحالة المهتمون بالنباتات الكثير والعديد من صنوف النباتات من مختلف اركان المعمورة الى مراكز العلم ، برزت ضرورة تجميع النباتات فى مجاميع كبيرة وفق مبادىء عقلانية رشيدة يتم تجميع النباتات وتسميتها وتصنيفها فى عصرنا الحديث وفق هدف مبدئى يتحدد فى ابراز مواطنها الاصلية والعلاقات الرابطة بينها وتحديد هوية واضحة لكل نبات من مئات الآلاف من انواعها المختلفة .

اسماء النباتات : Names Of Plants

الاسماء العلمية للنبات : The Scientific Names of Plants

يتكون الاسم العلمى لاى نبات من شقين . يشير الشق الاول الى اسم الجنس Genus ، بينما يشير الشق الثانى الى الكنية Specific epithet . وفى المجموع يكون الشقان اسم النوع Species . لايكتمل الاسم العلمى للنبات مالم يحتو على الشقين معا . ومن ناحية اللغة تكون اسماء المجموعة

اسماء فقط ، وربما يكون مصدرها اللاتينية او الاغريقية . اما الاسماء الخاصة Specific Names فتكون فى العادة صفات موصوفة وتكون احيانا اسماء .

ان الاسم العلمى لنبات الحور الرعاش quaking aspen Or poplar هو (Populus tremuloides)واسم الجنس هنا هو populus ، الذى ربما يكون مشتقا من التسمية الانجليزية arbor populi ، اى شجرة العشب ، حيث كان الرومان يزرعون الحور فى الاماكن العامة . هناك العديد من انواع الحور ولايختص منها باسم الحور الرعاش Populus termuloides الا نوع واحد فقط . لقد منح هذا الاسم لاحد انواع الحور واسع الانتشار فى امريكا الشمالية . ويشير الاسم الى خاصية ارتعاش او خفقان اوراق الشجرة بسبب نسمة الهواء الضئيلة التى تحرك الاعناق المفلطحة للاوراق . تجمع كل انواع الحور صفات مشتركة ، غير ان الحور الرعاش يتميز بصفات خاصة بالورقة والقلف والهيئة والبرعم والزهرة ، وكلها تميز هذا النوع بالذات عن انواع الحور الاخرى .

يعتبر النوع مجموعة من الافراد متقاربة الصفات . اما الانواع المختلفة من جهة والمتقاربة فى الاصل من جهة اخرى تتجمع فى مجموعات تسمى بالجنس . وعلى سبيل المثال توضع مختلف انواع البلوط Oaks فى مجموعة واحدة تسمى بجنس Quercus ، بينما تتجمع انواع المران Ashes' فى جنس Fraxinus فى حين تنتمى انواع الخوخ Peaches والكرز Cherries وما شبهها الى جنس الخوخيات Prunus

الاصناف : Varieties

ينقسم عدد من الانواع الى اصناف ويعتبر الصنف وحدة تصنيف ادنى من النوع . ويختلف الصنف عن النوع فى بعض الصفات الموروثة ، غير ان هذا الاختلاف لايكون كافيا لتصنيف حامله تحت نوع مستقل بذاته . كثيرا مايخلط فى الكتابة العامة بالانجليزية بين الصنف والنوع . عند كتابة الاسماء العلمية للنباتات يكتب الحرف الاول من اسم الجنس كبيرا بينما يكتب الاسم الخاص واسم الصنف او الكنية بحروف صغيرة .

تتبع فى تسمية النباتات المنزرعة فى العادة نفس مبادىء تسمية النباتات البرية . ان نباتات الحقول الشائعة والتى نعرفها كالكرنب cabbage والكيل (كرنب سلطة) kale وكرنب بروكسل Brussels sprouts والكرنب اللفتى (ابو ركبة) Kohlrabi والقرنبيط cauliflower والكرنب الهليونى broccoli . قد نشأت كلها من نوع برى اسمه Brassica oliracia . وتعتبر جميعها اصنافا لهذا النوع . تتعرض النباتات اثناء زراعتها فى العادة لعمليات الانتخاب والتهجين . وعن طريق الطفرات mutations والطفرات البرعمية bud sports ظهر العديد من الاشكال التى تتكاثر الآن خضريا فقط وليس بالبذور . ان مشكلة اضفاء الاسماء على النباتات المستزرعة هى من الصعوبة بمكان بحيث ان اصحاب الخبرة انفسهم يختلفون فيما بينهم على العديد من النقاط .

الاسماء العلمية والعامة Scientific and Common Names

عندما تم اعتماد النظام الحالى المتبع فى تسمية النباتات ، وكان ذلك فى اواسط القرن الثامن عشر كانت اللاتينية هى لغة الكتابة بين الدارسين والعلماء . ورغم تضاؤل اللغة اللاتينية من حيث الاهمية الا ان العلماء قد ابقوا عليها فى المسميات العلمية . ان اللاتينية كلغة قديمة تتميز بثباتها رغم هجر الناس التخاطب بها ، ومن هنا ظهرت مطاوعتها للعلميين ومناسبتها للتفاهم العلمى بين مختلف الجنسيات .

لقد إكتسبت الانواع العديدة من النباتات خصوصا اشيعها واكثرها فائدة أو اهتماما من جانب الانسان ، اسماء عامة علاوة على اسمائها العلمية . كما نجد ايضا الكثير من انواع النباتات ومنها ما يتميز بالضخامة مثلا او بغرابة الشكل لم تكتسب اسماء عامة ويكتفى لها بالمسميات العلمية . وعلى سبيل المثال نجد ان اكثر من 25000 نوع من نبات الاركيد orchid قد وصفت وصنفت رغم ان مالا يزيد عن بضع مئات منها فقط قد اكتسبت اسماء عامة مميزة . ومن بين الآلاف ، من النباتات الدنيا والاشكال المجهرية منها لانجد لها غير الاسماء العلمية فقط .

وكما سبق وان اشرنا تتميز التسمية العلمية بصفة هامة الاوهى الاستقرار النسبى فاذا ماطلق اسم علمى على نبات ما فان هذا الاسم يبقى دوما ، وفى اسوأ الاحتمالات عندما يتطلب الامر تغييره فانه يغير وفق قواعد نباتية متفق عليها . ويكون الاسم العلمى للنبات الواحد ثابتا اينما وجد النبات بينما تختلف فى العادة الاسماء العامة للنبات مع اختلاف الموقع او القطر او اى تقسيم جغرافى جزئى . وبطبيعة الحال تختلف هذه التسميات العامة من لغة الى اخرى . وعلى سبيل المثال يسمى نبات الذرة فى امريكا corn وفى بريطانيا waize بينما اسمه العلمى Zea mays ثابت ويطلق فى انجلترا اسم corn على القمح او اى محصول حبوبى آخر ذى بذور صغيرة كالشعير مثلا . هناك سبعة انواع من الصفصاف willow (Salix) يطلق عليها اسم عام واحد هو الصفصاف الاسود black willow ، بينما نبات الجليديتسيا Gledit-sia triacanthos قد اكتسب اربعة عشر اسما عاما منها السنط العسلى (الخرنوب العسلى) honey locust . يعرف نبات Thuja occidentalis باسم شجرة الحياة (عفصى) arbor vitae او الارز الابيض white cedar وذلك اعتمادا على الموقع .

ويعتبر اكثر مسببات الارتباك المذكورة آنفا استخدام اسم عام واحد لانواع مختلفة من النباتات ، وعلى سبيل المثال فان نبات Carpinus caroliniana ونبات Ostrya verginiana وهما من الاشجار الصغيرة وموطنهما امريكا الشمالية ، يعرفان باسم واحد وهو الشعاع القرنى hornbeam وليس هذا فحسب بل للنوعين اسم آخر هو الخشب الحديدى iron wood . كما وان زهرة مايو (آيار) may Flower تطلق على العديد من زهور الربيع التى لايربطها رابط . هناك خمسة انواع من الاشجار والشجيرات على اقل تقدير وكلها داخلة فى جنس الخوخيات تسمى عامة بالكرز البرى wild cherry ، كثيرا ما تتجاهل الاسماء العامة للنباتات علاقات الترابط الظاهرة للعيان فيما بينها . تدخل كل انواع القيقب maples ضمن جنس Acer بينما تسمى انواع منها باسماء عامة مثل البيلسان box elder والاسفندان الملون moosewood والخشب الاسود buckwood والحورة الخضراء mountain alder والدردار الاسود black ash والدردار العفن stinking ash وكل هذه الاسماء لاتدل من قريب او من بعيد على ترابطها الشديد . سرعان مايكتشف الدارس ان الحزازيات الاسبانية Span-ish moss و reindeed moss و haircap moss لايجمعها جامع بل ان واحدا منها فقط هو من الحزازيات .

يتعاظم اللجوء إلى استخدام التسميات العلمية . ولقد شهدت السنين الأخيرة التعرف على عدد كبير من النباتات ومنها نباتات الزينة على وجه الخصوص حيث تم نشر زراعتها . ولقد استجلبت كل هذه النباتات من العديد من البلدان لذا لا تتمتع غالبيتها بتسميات عامة . ومن هنا نجد أن الأفراد سواء المختصين منهم فى النبات أو الهواة يلجأون الى استخدام التسميات العلمية كحقيقة واقعة. من هذا المنطلق تتضاءل بسرعة وجهة النظر القائلة بأن هذه التسميات العلمية غير طيعة للمنطق وصعبة فى التذكر وغير لازمة بالمرة .

تصنيف النباتات : Classifications of Plants

مراتب التصنيف Categories of Classification

لكى يكون التصنيف كاملا ينبغى أن يخصص لكل نوع من انواع النباتات مكان محدد فى المملكة النباتية . كما ينبغى أن تجمع الأنواع المترابطة فى اجناس genera ، والاجناس المترابطة فى عائلات families ، بينما تجمع العائلات المترابطة فى فصائل orders . تتجمع الفصائل بدورها فى رتب classes وتتجمع الرتب فى أقسام divisions or phyla . لا يفوتنا هنا ذكر تصنيفات فرعية أو ما نسميه تحت التصنيفات subclassification وتعم هذه كل المراتب المذكورة أى هناك المملكة الفرعية subkingdom والقسم الفرعى subdivision والرتبة الفرعية sabclass والعائلة الفرعية subfamily والجنس الفرعى subgenus والنوع الفرعى subspecies وأخيرا الصنف . مع وجود القليل من الشواذ ، ينتهى اسم العائلة بالكاسعة اللاتينية aceae ، فعلى سبيل المثال تتجمع أنواع الزنابق lilies فى العائلة الزنبقية Liliaceae ، كما وأن فطريات المسام pore fungi تجتمع فى العائلة المسامية Polyporaceae . كما وان الكاسعة اللاتينية المستخدمة للتعبير عن الفصيلة هى

ales ـ . ومثال ذلك عائلات الاسل (السمار) rush والزنبق lily والنرجس الملون amaryllis فتتجمع معاً ومع عائلات اخرى فى فصيلة الزنابق liliales . ولتبيان التصنيف الكامل للصنف النواح weeping للقيقب الفضى أو الغض soft or silver maple المستزرع ، نذكر التالى :

المملكة النباتية ـ Plant Kingdom

المملكة الفرعية Sub kingdom ـ النباتات الجنينية Embryophyta

القسم Division ـ النباتات الوعائية Tracheophyta

القسم الفرعى Subdivision ـ النباتات البذرية Spermopsida

الرتبة Class ـ مغطاة البذور Angiospermea

الرتبة الفرعية Subclass ـ ذوات الفلقتين Dicotyledoneae

الفصيلة Order ' Sapindales

العائلة Family ' Aceraceae

الجنس Genus Acer

النوع Species ' Acer Saccharinum

الصنف Variety Acer Saccharinum var laciniatum.

من المتعارف عليه والمناسب أيضا الإشارة إلى أى مجموعة من الكائنات الحية ، بغض النظر عن حجمها أو مرتبتها أو ترتيبها فى المملكة بوصفها مصنفا taxon وجمعها (Taxa) وهكذا تعتبر رتبة السرخيات Filicineae مصنفا وكذلك جنس الصنوبر Pinus

تطور علم التصنيف : The Development of Classification

اتخذ النظام السارى لتصنيف النباتات وتسميتها بدايته فى بلاد الاغريق ، إذ تطلبت الدراسات القديمة اطلاق أسماء خاصة على النباتات الطبية والسامة والنباتات الغذائية ، ولكن لم تتبلور الخطوة الهامة على طريق تكوين نظام مترابط لتصنيف المعارف النباتية إلا مع مطلع القرن الرابع قبل الميلاد .

ثيوفراستس الاريس *Theophrastus of Eresus*

(370 ـ 285 ق م) لقد أسهم الكثير من الرجال فى عملية تطوير الطرائق الحديثة لتسمية النباتات وتصنيفها . وكان من بين المبرزين فى هذا المجال عالم زمانه ثيوفراستس . ولقد ولد فى مدينة ارسيس التى تقع فى جزيرة فى بحر ايجة . وتتلمذ على افلاطون ثم ارسطو من بعده ، وأصبح مساعد للأخير . ولقد منح فكره بالكامل لدراسة بلاده ـ اليونان القديمة كما قضى جل عمره وسط حديقة نباتية غناء اسسها ارسطو فى اثينا ، ومن هنا شغف عالمنا بدراسة العديد من المراجع وكتب الكثير من الكتب مثلت فروعا مختلفة من حقول المعرفة . ويهمنا بطبيعة الحال اكثر ما يهمنا مؤلفه المعروف باسم مبحث النباتات Historia Plantarum (Enquiry into — Plants) . ويعتبر هذا المؤلف اقدم مؤلفات علم النبات المعروفة ، وكان اسهام هذا المؤلف كبيرا لدرجة أن العالم لينايوس Linnaeus قد أطلق عليه لقب أبو النبات .

لقد اعطى هذا المخطوط بحق اشارة البدء فى عالم النبات ، وكان له باع كبير فى الإسهام فى تصنيف النباتات ، وصنف ثيوفراستس النباتات تحت أربعة مجاميع : الأشجار trees ، والشجيرات shrubs ، وأشباه الشجيرات half shrubs ، والاعشاب herbs وهو تصنيف مازال معمولا به حتى الآن ولقد تعرف هذا العالم على عائلات النبات ووصف الكثير منها ومن ذلك النباتات الزهرية كعائلة الجزر المعروفة باسم الخيمية umbelliferae . كما تمعن فى دراسة العلاقات الرابطة بين المخروطيات conifers والحبوبيات (الغلال) cereals والشوكيات thistles واقربائها . كما تعرف على الحور poplar والقان (البتولا) birchrs وجار الماء alders . كما تعرف ايضا على الأجناس بوصفها مجموعة أنواع وأطلق عليها أسماء اغريقية لا تزال تستخدم الى حد الآن . ولقد جرى تداول هذه الأسماء إلى يومنا هذا بوصفها أسماء علمية لأجناس مثالها شقائق النعمان Anemone والهليون Asparagus والسفرجل Cydonia .

لم تقتصر إسهامات ثيوفراستس فى علم النبات على التصنيف وحده . فلقد درس إنبات البذور ونمو البادرات مشيرا فى ذلك إلى الطرائق المختلفة التى تنبت بها الانواع



شكل (18 ـ 1) ليونارد فتش Leonhard fuchs (1501 ـ 1566) . وهو احد مشاهير جامعى الاعشاب ومصنفيها من اصل المانى ، مارس الطب ايضا . اهم مؤلفاته De Historia Stirpium 1542 . تضمن هذا المؤلف وصفا لحوالى 500 نبات محلى واجنبى . تضمنت مجموعة النباتات الاجنبية وصفا للذرة الهندية والقرع الهندى الذى ورد وصفه لاول مرة فى المؤلفات الاوربية ومما يذكر ان نباتات الزينة المزهرة والمسماة الفوشية fuchsia تحمل اسم هذا العالم .

المختلفة من البذور . ولقد اظهر أيضا أن الجذر هو أول التراكيب ظهورا اثناء عملية استنبات البذور . كما صنف أنواع الاوراق ودرس ترتيبها على الساق . وعلى الرغم من أنه قام بأبحاثه هذه قبل اختراع العدسات والمجهر بقرون عديدة إلا أنه قام بدراسات للتركيب الداخلي للنبات . ونجده قد ابرز بأبحاثه انه ليس كل ما يوجد في التربة من النبات جذور ، ولا يتحتم أن توجد كل الجذور تحت سطح التربة ، إذ ربما تكون هذه الأجزاء ابصالا bulbs أو كورمات corms أو تحورات أخرى للسيقان .

لقد دون ثيوفراستس العديد من الملاحظات في موضوع توزيع النباتات وعلاقة ذلك بالبيئات المحيطة وبذلك يكون هو أول مؤسس لعلم جغرافيا النبات وبيئاته . ومن ملاحظاته في هذا الشأن مثلا أن نباتات بعينها لا تعيش الا في المستنقعات بينما لا تعيش أخرى إلا على الشواطىء الضحلة للبحيرات ، وتختص مجموعة ثالثة بالنمو عند سفوح الجبال ، ولاحظ أيضا تأثير الرياح وفعل الظل والضوء وكثافة النباتات على نموها . من كل ما سبق أن ذكرنا نخلص إلى أن ثيوفراستس كان قد وضع اساسا متينا للعلم في كل ما تناوله ، بينما يرجع لمن تبعه من العلماء فضل بناء الصرح العالي .

جامعوا الأعشاب *The herbalists*

منذ عهد ثيوفراستس حتى حلول القرن السادس عشر الميلادي لم يتحقق تقدم ملحوظ في تسمية النباتات وتصنيفها وبعد ذلك بدأ جامعو الاعشاب وكانوا أساسا من الالمان ولكن أيضا بمساهمة الانجليز والطليان ـ نشاطهم في الفترة ما بين 1470 ـ 1670 م . لقد كان جامعوا الاعشاب (شكل 18 ـ 1) ، يعنون في الاساس بالاستخدمات العملية للنباتات وعلى رأسها الاستخدامات الطبية . لذا فقد حوت مؤلفاتهم العديدة والتي سميت بدليل الاعشاب herbals وصفا للنباتات المحلية والاجنبية على حد سواء . ولقد أدى توصيفهم الدقيق لا محالة الى نوع من التصنيف ، حيث إنهم كانوا يتعاملون مع الآلاف المؤلفة من الانواع ولذا فلقد حوت الادلة التي صدرت قرب نهاية الفترة المذكورة ظلالا للطرائق الحديثة التي اتبعت وبلورت فيما بعد في التصنيف النباتي .

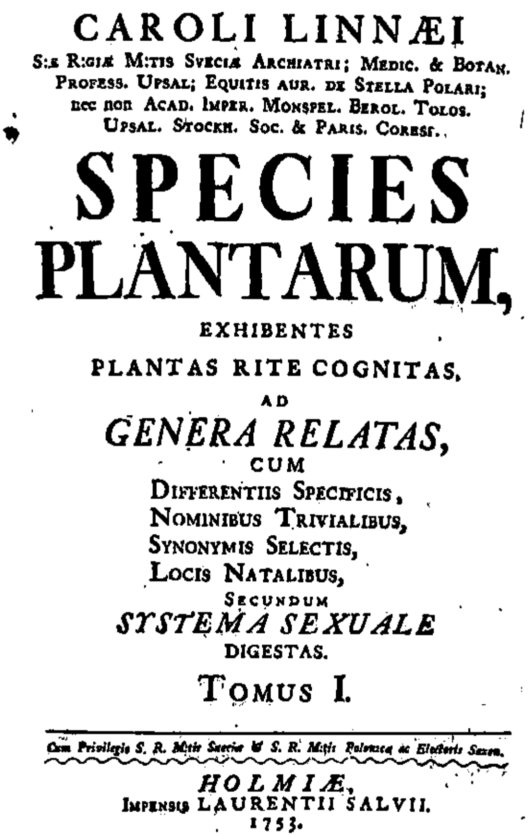
ومن هنا يرجع بعض أولى الرأى منشأ علم النبات الحديث إلى تلك المحاولات التي بذلها جامعو الاعشاب عند اكتشافهم ووصفهم للنباتات الطبية .

كارل لينايوس *Carl Linnaeus (1707–1778)*

يرجع الفضل فيما لدينا الآن من طرائق حديثة في تسمية النباتات الى عالم التاريخ الطبيعي السويدي كارل لينايوس ، (ويلقب بفون لينين) . وقد كان ابنا لاحد رجال الكهنوت وكان يهوى البستنة حيث عاش في قرية سويدية صغيرة . كانت حياته كلها كفاحا بدءابمعاناة الفقر الطاحن عندما كان طالبا في جامعة أوبسالا . ومن ثم عمل بالطب ثم اصبح استاذا للنبات والطب في نفس الجامعة ، وهناك كتب جل مؤلفاته . ويذكر عنه انه قد تولى بالرعاية تجديد الحديقة النباتية لمدينة اوبسالا ودرس النباتات التي كانت ترسل اليه من كل ارجاء المعمورة .

كانت العادة قبل لينايوس ان يطلق على النبات اسم من كلمة واحدة تعقبه مجموعة من الاسماء والصفات الواصفة لهذا النبات اما لينايوس فقد وضع اصول ما اصبح مشهورا فيما بعد بنظام الاسم المزدوج binomial system وذلك في مجموعات يعطى للنوع فيها اسم مركب من كلمتين ويعتبر هذا النظام منحى بارز الاهمية حتى منذ بدايته ، ذلك لأن اعداد النباتات المعروفة اخذت تتزايد بسرعة كبيرة عن طريق المكتشف منها بالترحال والتجوال في ارجاء المعمورةولقد برزت صعوبات اسلوب ما قبل لينايوس في التسمية لدى التعامل مع تلك النباتات الجديدة عندما صارت مصطلحاتها المقترحة طويلة حيث كانت وصفية .

علينا ان نذكر ان نظام التسمية الذي تم اقتراحه بواسطة علماء سابقين لم يكن هناك اصرار على تطبيقه . تبلور الاسلوب التطبيقي لهذا النظام في مؤلف لينايوس المسمى انواع النباتات Species Plantarum الذي نشر عام 1753 (شكل 18 ـ 2) لقد اقر علماء النباتات فيما بعد قواعد للتسمية اتفقت مع تسميات الكثير من المجموعات النباتية الكبرى التي وردت في هذا الكتاب .


CAROLI LINNÆI
S:Æ R:GIÆ M:TIS SVECIÆ ARCHIATRI; MEDIC. & BOTAN. PROFESS. UPSAL; EQUITIS AUR. DE STELLA POLARI; nec non ACAD. IMPER. MONSPEL. BEROL. TOLOS. UPSAL. STOCKH. SOC. & PARIS. CORESP.

SPECIES PLANTARUM,
EXHIBENTES
PLANTAS RITE COGNITAS,
AD
GENERA RELATAS,
CUM
DIFFERENTIIS SPECIFICIS,
NOMINIBUS TRIVIALIBUS,
SYNONYMIS SELECTIS,
LOCIS NATALIBUS,
SECUNDUM
SYSTEMA SEXUALE
DIGESTAS.
TOMUS I.

Cum Privilegio S. R. Mtis Sveciæ & S. R. Mtis Poloniæ ac Electoris Saxon.

HOLMIÆ,
IMPENSIS LAURENTII SALVII.
1753.

شكل (18 ـ 2) غلاف كتاب انواع النباتات Species Plantar um وقد ظهر في عام 1753 .

علاوة على الاسلوب التطبيقي في وضع الاسماء المزدوجة كان لليناليوس الفضل في تنسيق نظام للتصنيف ظهر انه اكثر شمولا من غيره . يسمى هذا النظام عادة بالنظام الجنسي sexual ذلك لأن لينايوس قد ركز جهده على عدد الاسدية stamens وعلاقاتها ببعضها البعض وبباقي اجزاء الزهرة. وانطلاقا من هذه القاعدة كوّن لينايوس ثلاثا وعشرين مجموعة او قل رتبة من النباتات الزهرية تأسست ثلاث عشرة رتبة منها على عدد الاسدية ، وكانت من سداة واحدة الى عشرين فأكثر كما قام بوضع رتبتين منها على الاطوال النسبية للاسدية واربع رتب قامت على الاسدية المتصلة ورتبة واحدة قامت على التحام الاسدية بالمدقات pistils ، وثلاث قامت على احتواء النباتات على ازهار غير مكتملة imperfect flowers . وشكلت المجموعة الرابعة والعشرون من نباتات غير مزهرة وحوت السراخس ferns والحزازيات mosses والفطريات fungi والطحالب algae .

● انواع التصنيف Kinds of Classifications

بناء على المبادىء المتبعة يوجد ثلاثة انواع من التصنيف وهي على النحو التالي :
1 ـ الاصطناعي artificial 2 ـ الطبيعي natural 3 ـ تاريخ تطور السلالة (العرقي) phylogenetic . وربما تتداخل التصنيفات الثلاثة المذكورة اثناء التطبيق .

كانت نظم التصنيف السابقة لنظرية داروين في التطور اصطناعية في غالبيتها اي انها كانت تقوم على اساس بضع من الصفات الشكلية العامة (المرفولوجية) . وكان هذا نظام لينايوس ، وقد نتج عنه امور شاذة مثل توزيع انواع العائلة الشفوية mint family (Labiatae) بين رتبتين من النظام ويعني بهذا ان الانواع ثنائية الاسدية قد دخلت في رتبة واحدة بينما دخلت الانواع رباعية الاسدية ضمن رتبة اخرى . وللسهولة فقط لاتزال النظم الاصطناعية متبعة في التصنيف الى حد الآن . فعلى سبيل المثال تتبع هذه النظم في بعض الكتب العامة في موضوع الزهور البرية . عندما يجرى تصنيف النباتات عشوائيا على اساس لون الزهرة وتوقيت التزهير والموطن وشكل الاوراق او ترتيبها ، ومن حيث كون النبات خشبيا او عشبيا يكون التصنيف اصطناعيا .

لقد اتبعت نظم التصنيف الطبيعية في ازمان متأخرة قبل داروين ، وكانت هذه النظم قائمة على التشابه العام من حيث الشكل العام الخارجي وعلى خلاف ما إتبع من نظم اصطناعية اقحمت النظم الطبيعية اكبر قدر من الصفات . كانت وحدة هذا النظام القاعدية تتبلور في النوع وتجمعت الانواع المتماثلة في اجناس كما جمعت الاجناس الحاوية على قدر كبير من الصفات المتماثلة في عائلات وهكذا دواليك . لقد افترض في هذه الفترة ان الانقطاعات ما بين الانواع وما بين الاجناس وما بين العائلات نتجت عن تخليقات خاصة . تشير مالدينا الآن من شواهد الى ان سبب وجود هذه الفجوات يكمن في وجود

عمليات طبيعية مثل العزل التكاثرى reproductive isolation ، وتعدد المجموعة الكروموسومية polyploidy او انقراض الاشكال البينية extinction of intermediate forms . ومن هذا البيان تكونت النظم الطبيعية للتصنيف معينة فقط بدرجات التشابه وبالترتيب او التتابع وبالمجاميع المترابطة علاوة على خلوه من علاقات تطورية evolutionary relationship .

فى السنوات اللاحقة لنظرية دارون عن اصل الانواع origin of species (1859) بدأت نظرية التطور تحل تدريجيا محل مبدأ الخلق التخصصى special creation . اذ لاحظ العلماء ان الانواع ليست ثابتة ولا تقبل التغيير ولكنها قد تطورت من انواع كانت موجودة اثناء العصور الجيولوجية . ويعتقد الان على وجه العموم ان السمات المتشابهة فى التركيب هى شواهد على العلاقات التطورية،ومن هنا بزغت نظم تاريخ تطور السلالات بأسسها الحديثة وتطبيق هذا فى تصنيف يقوم على علاقة رابطة فى سلم التطور . تنتفع هذه النظم بالمجموعات الطبيعية السابق تحديدها وكذلك بالمراتب القديمة المختلفة من اجناس وعائلات وفصائل التى ظهرت فى النظم الطبيعية حيث رتبت فى مخطط يعكس فى الاساس قيام العلاقات التطورية،فاذا ما تم التعرف الواضح على موقع نوع ما من مرتبة ما،سواء اكانت جنسا او عائلة ، وكررت هذه العملية على انواع اخرى ، تعتبر هذه الانواع مترابطة من حيث سلم التطور واحفادا لاصل واحد . ويفترض ان تكون هذه المجاميع شديدة الترابط اذا ما حوت اكبر عدد من الصفات المشتركة وعلى العكس كلما قلت الصفات المشتركة .

لقد نسجت الجهود المبذولة فى سبيل الكشف عن علاقات تاريخ التطور السلالى الرابطة وفى سبيل ترتيب مجاميع الكائنات الحية فى سلالات تبرز اقرباءها القريبين والبعيدين ، قد نسجت خيطا يربط بين الكثير من المباحث البيولوجية . ولقد واجهت هذه الجهود الكثير من الصعوبات وتطلبت جمع الشواهد من مختلف المصادر . فاعداد النباتات الحية عظيمة بحق ، كما وان الزمن يكشف عن الجديد والجديد من الانواع ممنا يبرز الكثير من المجاميع الحديثة ويسدل الستار عن مجاميع اخرى منقرضة ، ومن هنا يصبح العديد من الانواع متغيرا وراثيا وغير ثابت . ومما يزيد الامر صعوبة ان سجلات الحفريات النباتية المتحجرة fossil ذات الاهمية البالغة فى تحديد الاصل المتطور لاية مجموعة قد حوت العديد من الفجوات . وعلاوة على ذلك فلقد اختلف علماء النبات وتعددت اراؤهم وتباينت اثناء تحديد الاهمية النسبية الواجب اضفاؤها على العديد من الصفات او على مجاميع مختلفة من الصفات . وتتغير هذه الاراء بدورها بمجرد اكتشاف نباتات جديدة او ظهور حقائق وبراهين جديدة عن النباتات . ومن هنا يمكن القول بان اى مخطط لتاريخ التطور السلالى المتبع فى تصنيف النبات عرضة للتبدل والتغير تبعا لاتساع افق المعارف .

اتجاهات تاريخ التطور السلالى (العرقى) فى التصنيف

Phylogenetic Trends in Classification

يفترض اثناء ترتيب النباتات فى نظام تاريخ التطور السلالى ، ان الاتجاه الابتدائى لتطور النباتات (وكذلك الحيوانات) كان من كائنات حية بسيطة التركيب ، الى كائنات حية اكثر تعقيدا . ويشير فيض الشواهد المستنبطة من كل من الحفريات النباتية والنباتات الحية الى التتابع المذكور ويمكننا التباعد الذى نتج عن فعل آليات التطور من تجميع الكائنات الحية فى مجاميع مثل الانواع والاجناس والعائلات والفصائل والرتب والاقسام ، كما يمكننا ترتيب كل هذه فى تتابع ونسق واحد قائم على وجود الصفات البدائية والمتقدمة .

ومن الحقائق المسلم بها ايضا انه رغما عن وجود الميل العام فى التطور نحو التقدم ، الا انه ربما يوجد فى الكثير من المجاميع وبالنسبة للكثير من الصفات تراجع بالنسبة للتطور باتجاه التبسيط وتزداد دراسات تاريخ التطور السلالى (العرقى) صعوبة على صعوبتها من الحقيقة المذكورة آنفا ، تلك التى كثيرا ما تقحم معها بحث مسألة ما اذا كان التركيب او الحالة المعنية بسيطة بسبب كونه بدائيا فعلا ام بسبب التبسيط الناتج عن اختزال التطور (اى التطور الانتكاسى Creduced evolution . وتسود هذه الصعوبة بسبب وجود شواهد اختزال الصفات حتى فى الاشكال البسيطة من الكائنات الحية مثل الفطريات والطحالب وكذلك فى النباتات الوعائية الاكثر تطورا فعلى سبيل المثال تختفى فى الكثير من انواع الزهور

بعض الاجزاء مثل الاسدية والأوراق التويجية (البتلات) petals. وحتى الغلاف الزهري perianth برمته وظاهريا لا يوجد أى دليل على سابق وجود مثل هذه الاجزاء، او ربما تمثلها بعض الغدد glands أو الحراشف او الرحيق. أما من الداخل فربما توجد آثار الحزم الوعائية فى مواضع تتشابه مع مواضعها فى الازهار حيث تتواجد مثل هذه الاجزاء ويتطور واضح.

هناك صعوبة اخرى تواجه تفسير العلاقات التطورية والتى تكمن فى التطور التقاربى convergent evolution ينطبق هذا المصطلح على التطور المستقل الجارى فى التراكيب المتماثلة فى كائنات حية غير مترابطة بصلة، او تلك التى لها صلة ضعيفة. وعلى الرغم من أن هذه الاشكال لم تنحدر من اصل تطورى واحد فانها تظهر تشابها فى الصفات بينها يكون سببا فى الاعتقاد بوجود صلات قربى بينها. وأحد أمثلة التطور التقاربى يكمن فى استغلال امتلاك ستة اصناف مختلفة من النباتات الوعائية لهذه الاوعية، فعلاوة على وجود الاوعية فى نباتات ذات الفلقة الواحدة والفلقتين فانها توجد ايضا فى كل من الحزازيات الصولجانية الصغيرة Selaginellales وذيل الحصانيات Equisetales والسرخسيات Filicales واخير الجنيتاليس Gnetales (انظر تصنيف المملكة النباتية فى هذا الفصل). يوجد مثال آخر على التقارب يكمن فى تشابه الكائنات الحية الغير متقاربة والتى تنمو تحت ظروف بيئية متشابهة ويتضح هذا بجلاء من خلال التشابه القائم بين نباتات عائلتى الغربيون spurge والصبار cactus (انظر شكل 15ـ2 و 15ـ3) من الجزء الاول من هذا الكتاب). ويمكن إبراز الكثير من الامثلة الاخرى الدالة على التقارب. ان الجهود المبذولة فى سبيل التفريق بين علاقات القربى المباشرة وبين تلك الناتجة بسبب التقارب تغير من المظاهر المهمة لدراسات التطور.

وعلى الرغم من التطور الانتكاسى (الاختزالى) والتقاربى وماينشأ عنهما من صعوبات، فإن دراسات التطور الجارى فى المملكة النباتية سوف تستمر حسب هدفها الذى تبلور فى الوصول الى تصنيف يقوم على علاقات القربى السلالية ولايضيرنا هنا أن مثل هذا التصنيف لن يصل ابدا الى الكمال، الا أن الجهود المبذولة ضمن المحاولة سوف تؤتى ثمارها نحو تصنيف أكثر دقة يقوم على العلاقات الوراثية ويؤدى الى فهم افضل لعمليات التطور ـ أى العمليات المسئولة عن تشكيل وصياغة عالم الحياة حولنا.

المميزات المستخدمة فى التصنيف: Characters Used in Classification

يقوم التصنيف عادة على أساس الشكل العام سواء أكان داخليا ام خارجيا وربما تكتسب الصفات الفسيولوجية اهمية معينة غير ان استخدامها كمعيار، كثيرا مايصبح غير مناسب ومستهلكا للوقت. وفى الحقيقة هناك مجاميع معينة مثل البكتريا لايمكن الركون الى شكلها العام فقط ولكنها تتطلب اجراء دراسة اضافية للتفاعلات الفسيولوجية.

تحوى سمات الشكل العام المستخدمة فى التصنيف كلا من التراكيب الخضرية والسمات ذات العلاقة بالتكاثر الجنسى. ان التركيب الداخلى والتماثل الخارجى الموجودين فى جسم النبات، علاوة على وجود الانسجة الوعائية او عدم وجودها وكذلك طبيعتها وترتيبها ان وجدت، ماهى الا سمات خضرية. ان طبيعة اجزاء النبات الموجودة تحت سطح التربة من بين النباتات المزهرة سواء أكان ذلك الجزء بصلة او ريزومة او كورمة لها أهميتها فى التصنيف. وربما تستخدم هيئة الورقة ومن ضمنها تركيب بشرتها وطبيعة الشعيرات البشرية. وعلى وجه العموم فان مظاهر التكاثر تستخدم اكثر من السمات الخضرية. والسبب فى ذلك أن صفات التكاثر المميزة كثيرا ماتكون ذات علاقة بالمميزات الفيزيائية البيئية وبناء على ذلك فهى أكثر استقرارا اذا ما اخذ فى الاعتبار مجاميع كبيرة من النباتات. كمثال على استعمال مظاهر التكاثر فى عملية تصنيف النباتات الزهرية يمكن رؤيتها بواسطة مقارنة بين نباتات الخيزران bamboos والتى كثيرا ماتتخذ حجم الاشجار وبين نجيل المراعى المخضرة. ان كلا من نبات الخيزران ونجيل المراعى يدخل فى عائلة واحدة هى عائلة النجيليات، وعلى نفس القاعدة تصنف اشجار الخرنوب Locust والمسكيت mesquite ضمن عائلة واحدة مع البرسيم الحجازى (الصفصفة) والنفل وهما من النباتات العشبية، كما أن أزهار نبات الهليون التى تشبه الزنابق الصغيرة (أو التيولب) تنتسب الى العائلة الزنبقية. تبرز

التراكيب الزهرية أن كلا من نبات الشليك (الفراولة) والتفاح والخوخ والورد تحوى الكثير من الصفات المتشابهة لذا وضعت كلها في عائلة الورود. كما وتستخدم كل من الثمار والبذور بجانب الازهار أساسا للتصنيف خصوصا اثناء تمييز احد الانواع عن غيره.

المملكة النباتية: The Plant Kingdom

علينا أن نذكر مرة اخرى انه لايمكن اعتبار اى تصنيف للمملكة النباتية تصنيفا نهائيا طالما أن معارفنا حول النبات تتزايد مع الزمن. ولقد لزم هذا التنويه تقديما للتصنيف الوارد أدناه للتأكيد على أن هذا التصنيف يعتبر من بين أحد ث حلقات سلسلة تمتد بنا من عصر ماقبل لينايوس، وهذا التصنيف يعتبر أقرب الى النظام الطبيعي. ونعنى بذلك ان النظام يجمع مجموعات نباتية تشترك في الكثير من الصفات. ويمكن اعتبار هذا النظام لتاريخ التطور العرقى في المجاميع الاقل تطورا من حيث التركيب إذ وردت في السابق بالنسبة للمجاميع الاكثر تقدما وكثيرا ماينظر الى الرتب الاكبر او الممالك الفرعية بوصفها من التصنيفات الأصطناعية، ولقد وردت هنا للسهولة فقط. اما الرتب الكبرى التالية فقد سميت بناء على قواعد التصنيف النباتى بالاقسام divisions. وتتكافأ الشعبة phylum المستخدمة بين علماء الحيوان مع القسم division في النبات كما يتطابق كل من القسم الفرعى subdivision والشعبة الفرعية subphylum. وعدد الاقسام المعروفة في النبات هى اثنا عشر قسما. وقد عزلت نباتات القسم الاخير اى الوعائية Tracheophyta في قسم قائم بذاته ثم صنفت بناء على احتوائها على الانسجة الدعامية وانسجة التوصيل، ووزعت هذه النباتات على خمسة أقسام فرعية. وتكوّن أوراق نباتات الاقسام الثلاثة الفرعية الاولى أوراقا بسيطة وصغيرة في العادة. ان وجدت كما تخلو الورقة من الفرج الورقية Leaf gaps، في نباتات الـ Pteropsida (سراخس) والـ Spermopsida (نباتات بذرية) توجد فرج ورقية، كما يكبر حجم الاوراق عموما.

ان التصنيف اللاحق للمملكة النباتية غير كامل ولكنه يمثل الى حد بعيد مسحا للمجاميع النباتية التى سندرسها فيما بعد. بعض المجاميع الواردة لم تنل الا القدر القليل من البحث وانها لم تبحث اصلا، وسوف نشير اليها بعلامة * ولقد تم حذف العديد من مجاميع النباتات المنقرضة وكذلك بعض النباتات الحية من القائمة. وحدد عرض القائمة عموما على الرتب والرتب الفرعية، غير أن هذه الدائرة اتسعت احيانا لتشمل الفصائل والعائلات. سوف نتناول النباتات البذرية بمزيد من التفصيل في الفصلين السابع والعشرين والثامن والعشرين، حيث سيكون الشرح موجزا لاهم العائلات واكثرها شيوعا.

احد تصنيفات المملكة النباتية A Classification of the Plant Kingdom

المملكة الفرعية الاولى Subkingdom 1

النباتات الثالوسية Thallophyta (Thallus Plants)

لايتميز جسم النبات الى جذروساق وورقة، ولاوجود للانسجة الوعائية. تغلف الامشاج gametes بجدار خلوى فقط. لايتطور الزيجوت Zygote الى جنين اثناء وجودها مغلفة داخل العضو الانثوى الجنسى.

ثالوسيات تحتوى على الكلوروفيل Thallophytes with Chlorophyll

القسم الاول - Division 1

الطحالب الخضراء Chlorophyta (Green Algae)

يحتوى على 7000 نوع تقريبا يكون الكلوروفيل والكاروتينات والزانتوفلايت مماثلة اساسا للنباتات الراقية. يخزن الغذاء في العادة في صورة نشاء حقيقى. يحدث كل من التكاثر الجنسى واللاجنسى ويكون جسم النبات احادى الخلية او في صورة مستعمرات او متعدد الخلايا متحركا او غير متحرك. تعيش انواعه في المياه العذبة او المالحة.

القسم الثانى - Division 2

اليوجلينات Euglenophyta (Euglaenoids)

يحتوى القسم على مايقارب 450 نوعا ولها أسواط

Flagellates خضراء او عديمة اللون وتوجد بزوج من الاسواط لكل خلية (يكون احدها عاملا فى بعض الاجناس). خلايا هذه الانواع عارية (المقصود هنا غياب جدار الخلية الحقيقى). تتكون الطبقة الخارجية وهى قشرة رقيقة pellicle من الغشاء البلازمى المدعم بشرائط قشرية pellicular strips متشابكة وبترتيب حلزونى حول الخلية. يختزن الغذاء على هيئة عديد السكريات polysaccharie والبراميلون paramylonيكون التكاثر الخضرى بواسطة انقسام الخلايا طوليا. لم يتم التعرف على حدوث التكاثر الجنسى.ينمو اغلبها فى الماء العذب والبعض منها فى الماء المالح.

القسم الثالث : - Division 3

الطحالب الخضراء المزرقة Cyanophyta (Blue-green Algae)

وتضم قرابة 1500 نوع ، وهى بروكريوتية : حيث إن الصفائح الخاصة بالبناء الضوئى photosynthetic lamellae لا تنتظم لتكوين البلاستيدات ؛ لا يوجد غشاء نووى . لم يتم التعرف على حدوث تكاثر جنسى . اعضاء الحركة غير معروفة ايضا . يكون جسم النبات مؤلفا من خلية واحدة (وحيد الخلية) أو على شكل مستعمرات أو شريطا filamentous ويرجع اللون فى الاساس الى صبغة الفيكوسيانين Phycocyanin ، غير أن بعض الأنواع تحتوى على صبغة حمراء (الفيكواريثرين Phycoerythrin) ، وتكون الصبغة السائدة . يختزن الغذاء على صورة كربوهيدرات (Cyanophycean starch) وتنتشر أنواعه فوق التربة والصخور الرطبة . وفى كل من المياه العذبة والمالحة .

القسم الرابع : - Division 4

الكريزوفيتا Chrysophyta

ربما يكون قسما اصطناعيا تترابط رتبه عبر تجمع العديد من الصفات يتخذ لونه تبعا لزيادة العديد من الكاروتينيات ، يختزن الغذاء أساسا بصورة عديدة السكريات الليكوسين Ieucosin أو الزيوت . يغيب السليولوز فى الغالب من جدار الخلية ، وتتغلغل كربونات الكالسيوم أو السليكا أحيانا فى البكتين ، وتكون الأسواط إن وجدت قيمة فى موقعها .

الرتبة الاولى Class 1

الطحالب البنية ـ المصفرة - athophyceae (yellow-Green Algea) عددها حوالى 360 نوعا أحادية الخلية أو شريطية الشكل ، ويرجع لونها أساسا إلى زيادة كاروتين بيتا beta--carotene

الرتبة الثانية Class 2

الطحالب البنية ـ الذهبية Chrysophyceae (Golden-Brown Algae)

وتحوى هذه الرتبة ما يقارب 650 نوعا . تكون غالبيتها إما أحادية الخلية أو فى شكل مستعمرات سوطية ، ويرجع لونها إلى زيادة كاروتين بيتا B ، الفيوكوزانتين الزانثوفيلى xanthophyll fucoxanthin .

الرتبة الثالثة Class 3

الدياتومات Bacillariophyceae (Diatoms)1

وتحوى الرتبة ما يقارب 10000 نوع ، وتكون صبغاتها كما فى الرتبة الثانية . تتغلغل السليكا فى جدار الخلية ، وفى جزئين أو صمامين ، يعلو أحدهما الآخر بما يشبه علبة الدواء أو علبه الحبوب .

القسم الخامس : - Division 5

Pyrrhophyta (Dinoflagellates)

الرتبة الأهم فى القسم هى الدينوسوطيات Dinflagellates وهى مجموعة تحوى قرابة الألف نوع . أما البلاستيدات فهى من نوع الأخضر المصفر أو البنى الذهبى ، تختزن غذاءها على هيئة نشاء أو زيت ، وهى سوطيات أحادية الخلية تكون جدران خليتها من السليولوز السميك ومقسمة إلى صفائح ومزودة بأخاديد أحدها طولى والآخر عرضى ، ويرافق كل اخدود سوط طويل . نادرا ما يحدث منها التكاثر الجنسى أو لا يحدث بالمرة . وتنتشر كثيرا فى الماء المالح وقليل منها فى المياه العذبة .

القسم السادس : ـ Division 6

الطحالب البنية . Phaeophyta (Brown Algae)

يحوى هذا القسم على مايقارب 1500 نوع . تكون بالاستيداتها بنية بسبب وجود الفيوكوزانثين الزانثوفيلى ، تختزن غذاؤها أساسا بصورة مركب لامنرين متعدد السكريات Polysaccha - ride Laminarin أو كزيت . السبورات إذا تكاثرت جنسيا فانما يكون ذلك عن طريق الزوسبورات (السبورات اللاجنسية المتحركة) motile zoospores . تكاثرها الجنسى بتساوى الأمشاج isogamous أو بغير تساويها oogamous أساسا تكون بحرية : جسم النبات غير متحرك ، ويكون كبيرا ومعقدا .

القسم السابع : ـ Division 7

الطحالب الحمراء (Rhodophyta (Red Algae

يحوى القسم قرابة 4000 نوع . يرجع لونها الأحمر إلى وجود صبغة حمراء هى الفيكواريثرين .
تختزن غذاءها على صورة كربوهيدرات (نشا الفلوريدين) floridean starch وهو ذو علاقة بنشاء النباتات الراقية . يكون تكاثرها الجنسى غير متساوى الامشاج oogamous بواسطة أمشاج غير متحركة . وغالبا ما تكون الأمشاج الغير متحركة واضحة ، وتوجد أساسا فى البيئات البحرية .

الثالوسيات الخالية من الكلورفيل Thal-lophytes Without Chlorphyll

القسم الثامن : ـ Division 8

النباتات المنشطرة Schizophyta (Fission Plants)

نباتات هذا القسم من الثالوسيات البروكاريوتية Pro-caryotic thallophytes ، أحادية الخلية ، تتكاثر فى العادة بالانقسام الخلوى ، وتتضمن ما يقارب 1600 نوع .

الفصيلة الأولى Order 1

البكتريا الحقيقية Eubacteriales (True bacteria)

قليل منها ذاتى التغذية autotrophic ، والأغلب غير ذاتى التغذية heteroctrophic تحتوى هذه الفصيلة على حوالى 1300 نوع .

الفصيلة الثانية : ـ Order 2

Actinomycatales Actinomycetes)

نباتات هذه الفصيلة تتألف عادة من خيوط متشعبة وطويلة . وتتكاثر بالانقسام الخلوى او بالكونيديا conidia . تحوى هذه الفصيلة ما يزيد على 200 نوع يحوى القسم على 7 ـ 8 فصائل إضافية لاغراض التسهيل تضم الفيروسات Virales (Viruses) إلى قسم النباتات الانشطارية Schizophta على الرغم من كون الأولى تشكل مجموعة مستقلة .

القسم التاسع : ـ Division 9

. Myxomycota (Myxomycetes or True Slime Molds)

العفن اللزج الحقيقى .

يحتوى القسم على 450 نوعا . يعتبر جسم النبات كتلة عارية من البروتوبلازم . تتكون السبورات spores عادة فى حافظات السبورات sporangia ، ولكنها لا تكون خيوطا فطرية hyphae أثناء الإنبات .

القسم العاشر : ـ Division 10

الفطريات الحقيقية (Eumycota (True Fungi

يتكون جسم النبات فى العادة من خيوط فطرية .

الرتبة الاولى : ـ Class 1

الفطريات الطحلبية Phycomycetes (Algal fungi)

وتشمل حوالى 1400 نوع . وهى خيوط فطرية

خضرية . تكون في العادة خالية من الجدران العرضية . يتم التكاثر الجنسي إما بالزيجو سبورات zygospores ، أو بالبيضات المخصبة oospores .

الرتبة الثانية : Class 2

الفطريات الكيسية Ascomycetes (Sac Fungi) تشتمل حوالي 15,500 نوع . الخيوط الفطرية لها جدران عرضية . تتكون السبورات الاسكية ascospores عقب الاندماج الجنسي sexual Fusions

الرتبة الثالثة : Calss 3

الفطريات الصولجانية (الفطريات البزيدية)

Basidiomycetes (Basidium Fungi , Club Fungi

تحتوي هذه الرتبة على 15000 نوع، تتكون السبورات البزيدية basidiospores ، عقب الاندماج الجنسي .

الرتبة الرابعة : Class 4

الفطريات الناقصة Deuteromycetes (Fungi Imperfecti)

وهي 15000 نوع . لم يتم التعرف على تكاثر جنسي فيها .

توضع الاشنات lichens رتبة الاشنات (Class Lichenes) في العادة مجاورة للفطريات الحقيقية true fungi . وهي كائنات حية مزدوجة اذ يتكون النبات منها من طحلب وفطر . يصل عددها حوالي 17,000 نوع .

المملكة الفرعية الثانية Subkingdom 2

الجنينيات Embryophyta

يتطور الزيجوت مكونا جنينا عديد الخلايا ، وذلك اثناء وجوده داخل عضو التأنيث (ارشيجونة أو حاملة البيضة Archegonium) او داخل الكيس الجنيني embryo —sac . تغلف الامشاج طبقة من الخلايا العقيمة sterile cells

القسم الحادي عشر Division II

النباتات الحزازية Bryophyta

يعود جسم النبات الظاهر الى جيل الطور المشيجي gametophyte . يكون الطور السبوري sporophyte غير متفرع ، ومتصلا بالطور المشيجي . لا تحوي نباتات القسم انسجة وعائية او جذورا . تكون الاعضاء الجنسية (الارشيجونات والانثريديات Archegonia and antheridia متعددة الخلايا تغلفها طبقة من خلايا عقيمة .

الرتبة الاولى Class 1

الكبديات Hepaticae (liverworts) .

ستة آلاف نوع تقريبا . يكون جسم النبات في غالبية الانواع متماثلا ، ظهري - بطني التماثل dorsiventral symmetry ، كما ان الجسم يكون شبيها بالثالوس او ورقيا وغالبا ما يكون منبطحا ويكون طوره السبوري سريع الزوال ويذبل بعد نضج السبورات . تنفتح الكبسولة (العلبة) capsule بدون انتظام او من خلال اربعة صمامات valves .

الرتبة الثانية : Class 2

الكبديات القرنية Anthocerotae (Horned Liver-worts or Hornwort)

وتحوي 320 نوعا . ويكون طورها المشيجي متماثلاً ظاهريا وهي شبيهة بالثالوس يزود طورها السبوري بمرستيم قاعدي طويل وغير سريع الزوال ينفتح عبر صمامين .

الرتبة الثالثة : Class 3

الحزازيات Musci (Mosses)

وهى اكثر من 14000 نوع . يكون جسم النبات مورقا ومتماثلا قطريا ومنتصبا او منبطحا . تتحرر السبورات بعد سقوط غطاء الكبسولة . طورها السبورى سريع الزوال وطورها المشيجى طويل العمر .

القسم الثانى عشر : Division 12

النباتات الوعائية Tracheophyta (Vascular plants)

ينتمى جسم النبات الى جيل الطور السبورى . للنباتات خلايا توصيل متخصصة (الخشب واللحاء Xylem and Phloem . تتواجد الارشيجونات عادة (فيما عدا حالة مغطاة البدور Angiosperms) .

القسم الفرعى أ Subdivision A

البسيلوبسيدا psilopsida

تخلو النباتات من الاوراق والجذور . يتألف جسم النبات من محور هوائى متفرع ويمتد الى أسفل داخل التربة . تكون حاملات السبورات طرفية او جانبية غالبيتها من النباتات المنقرضة .

فصيلة الرينيالات Order Rhyniales

وهى نباتات وعائيةقديمة وبسيطة ، انقرضت كلها ومنها الرينيا Rhynia والهيغلينجيا Hicklingia والهيديا Hedeia والكوكسونيا Cooksonia وغيرها .

فصيلة Order Zosterophyllales

ومنها الاجناس المنقرضة مثل الـ Zosterophyllum وغيرها .

فصيلة منقرضة اخرى Other extinct orders

فصيلة البسيلوتيلات Order psilotales

ومنها جنسان غير منقرضين هما البسيلوتم Psilotum والتميسيبتيرس Tmesipteris (قارن بالوارد عن البسيلوتيلات فى الفصل ـ 25) .

القسم الفرعى ب Subdivision B

Lycopsida

الاوراق بسيطة ، صغيرة فى العادة ، اما بلا ترتيب او بترتيب حلزونى فى صفوف رئيسية ولا يكون الترتيب حلقيا ابدا . تولد حاملة السبورات sporangia منفردة فى آباط الاوراق السبورية (sporophylla) . غالبا ما تكون الاوراق السبورية مختزلة ومتجمعة على هيئة مخاريط طرفية (اقماع) (strobili) .

الفصيلة الاولى : order 1

الحزازيات الصولجانية العملاقة Lepidodendrales (Giant Club Mosses)

ماعرف منها من الحفريات fossils فقط . فمن الليبيدودندرون Lepidodendron يوجد 300 نوع ومن السيجيلاريا Sigillaria يوجد 400 نوع .

الفصيلة الثانية : order 2

الحزازيات الصولجانية . Lycopodiales (Clup Mosses)

يوجد من الحزازيات الصولجانية Lycopodiales 450 نوع حى . ولا يوجد من phylloglossum الا نوع واحد حى . اما الليكوبوديتس Lycopodits فقد انقرضت . (ربما يمكن ضم كل من الـ Asteroxylon و الـ Baragwanathia الى الاشكال الحفرية المتقاربة فى فصيلة واحدة) .

الفصيلة الثالثة order 3

السيلاجينيلا (حزازيات صولجانية صغيرة Selaginellales (Small Club Mosses)

ومنهـا السيـلاجينيلا Selaginella وتحـوى 700 نـوع حى ، أمـا السيلاجينيلات Selaginellales فقد انقرضت كلها .

الفصيلة الرابعة Order 4

الـريشيـة Isoetales (Quillworts)

ومنهـا الايـزوتس Isoetes وتحـوى 64 نـوعـا وكـذلـك الستـايليتس Stylites وتحوى نوعين فقط .

القسم الفرعى جـ Subdivision C

السفينوبسيدا Sphenopsida

اوراق النبـاتات صغـيرة وبسيطة ومـرتبـة تـرتيبـا حلقيـا والسيقـان متصلة . تحمـل الاوراق المخصبـة sporophylls المتحورة عددا من حاملات السبورات وتكون منتظمة فى صورة اقمع طرفية (مخاريط) strobili . المعروف منها حفرى فقط .

* الفصيلة الاولى Order1

السفينوفيلاليس ـ سفينوفيللم Sphenophyllales Sphenophyllum

فصيلة منقرضة كانت تحوى مائة نوع .

الفصيلة الثانية Order 2

ذيل الحصان Equisetales Horsetails (Equisetum)

وتتضمـن 25 نـوعـا حيـا . امـا الـ equisetites فقـد انقرضت .

الفصيلة الثالثة Order 3

الكالاميتاليس ـ الكالاميتيس Calamitales Calamites

فصيلة منقرضة حوت 300 نوع .

القسم الفرعى د Subdivision D

البتيروبسيدا Pteropsida

اوراق النبات كبيرة فى العادة ومعقدة . تحمل الاوراق المخصبة حاملات السبورات .

الرتبة الاولى Class 1

السرخسيات Filicineae (The Ferns)

حـاملات السبـورات فيها عـديدة ، تـوجد فى العـادة عـلى السطح الاسفل للاوراق السبورية وقد تكون طرفية أو حافية . تنمو نموا ابتدائيا فقط . يتم الاخصاب بالسبرمات العائمة .

الفصيلـة الاولى Order 1

لســان الحيــة وسرخس العنب . Ophioglossales (Adder's tongues and Grape Ferns)

وتحوى الرتبة 90 نوعا .

o الفصيلة الثانية Order 2

المـاراتيـالات Marattiales (Marattiaceous ferns)

وتحوى 190 نوعا .

الفصيلة الثالثة ـ Order 3

السرخسيات النمطية Filicales (Typical ferns)

وفيها 15000 نوع .

القسم الفرعى هـ Subdivision E

النباتات البذرية Spermopsida (The seed Plants)

الطائفة الاولى Class 1

عـاريـة Gymnospermae (The Gymnosperms)

البذرور . البذور عادية ، تسقط حبوب اللقاح على او بالقرب من البويضات .

الفصيلة الاولى Order 1

السرخسيات البذريـة Pteridospermales (Seed ferns)

وهى نباتات تحمل البذور غير ان شكلها العام يشبه الشجرةالسرخسية . البذور محمولة على الاوراق ، ولا تكون فى مخاريط ابدا رتبة منقرضة .

الفصيلة الثانية Order 2

البينيتيتالات Bennettitales

غالبا ما تكون من النباتات الكبيرة والخشنة وسيقانها سميكة وغير متفرعة تحمل تاجا من اوراق تشبه سعف النخيل . تكون الاوراق السبورية الذكرية فى العادة شبيهة بالورقة . وتحاط سيقان عديدة بالاوراق السبورية الكبرى megasporophylles . وتحمل كل ورقة سبورية كبرى مبيضا طرفيا terminal ovule . وهى فصيلة منقرضة .

الفصيلة الثالثة Order 3

السيكاداليس ـ السيكاس Cycadales (Cycads)

وهى نباتات تشبه النخيل وتكون تراكيب التكاثر الذكرية والانثوية على هيئة مخاريط فى العادة . السبرمات متحركة . يوجد منها 90 نوعا حيا .

الفصيلة الرابعة Order 4

الكورديتاليس Cordaitales

من المخروطيات القديمة اشجارها طويلة رشيقة ، الجذوع بسيطة وطويلة . توجد تراكيب التكاثر فى تجمعات ذات نهايات مذنبة Catkinlike فصيلة منقرضة .

الفصيلة الخامسة Order 5

الجنيجاليس Ginkgoales

منها نوع واحد حى هو شجرة المعبد ginkgo biloda . وهى شجرة زغبية (ام الشعور). والسبرمات متحركة . هناك العديد من الانواع المنقرضة .

الفصيلة السادسة Order 6

المخروطيات Coniferales (The Conifers)

وهى 550 صنفا تسمى « باشجار الخشب الرخوة » او الاشجار دائمة الخضرة . اوراقها ابرية فى الغالب . تراكيب التكاثر الذكرية والانثوية تتواجد عادة فى مخاريط . توجد بذورها فى العادة على سطح الحراشف . السبرمات غير متحركة . بل تنتقل الى البيضة بواسطة انبوبة اللقاح .

الفصيلة السابعة Order 7

الجينيتالس Gnetales gnetum , Welwitschia , الايفدرا Ephedra وبها 70 نوعا .

الرتبة الثانية Class 2

مغطاة البذور (كاسيات البذور) Angiospermae (Angiosperms)

من النباتات الزهرية ، تكون بذورها مغطاة بكربلات Carpels ، اوراقها عريضة نمطية ، تسقط حبوب اللقاح على الميسم . السبرمات غير متحركة وتنقل الى المبيض Ovule بواسطة انبوبة اللقاح .

الرتبة الفرعية أ

Subclass A

مـن ذوات الفلقتـين . Dicotyledoneae (Dicotyledons)

وتحوى 200,000 نوع . جنينها مؤلف من فلقتين ، اجزاء الزهرة تكون رباعية او خماسية فى العادة ، النسيج الوعائى للساق فى صورة اسطوانية ، يوجد الكمبيوم فى العادة ، اوراقها شبكية التعرق ـ نباتاتها عشبية وخشبية .

نورد فيما يلى بعض اكبر عائلاتها ملحقة بالعدد التقريبى لكل نوع منها .

الحوذان ـ الحوذانيـة Crowfoot or buttercup (Ranunculaceae) ـ 1500 نوع ، الخباز ـ الخبازية (Malvaceae) Mallow ـ 1000 نوع ، الخردل ـ الصليبية (Cruciferae) Mustard ـ 3000 نوع ، الفربيون ـ (اللبين) ـ الفربيونية (اللبينية) Spurge (Euphorbiaceae) ـ 8000 نوع ، الورد ـ الوردية (Rosaceae) Rose ـ 300 نوع ، البقول ـ البقولية (Leguminosae) Legume ـ 14000 نوع ، الجزر ـ الخيميـة (Umblliferae) Carrot ـ 3000 نوع ، النعناع ـ الشفوية (Labiatae) Mint ـ 4500 نوع ، البطاطس ـ الباذنجانية (Solanaceae) Potato ـ 2500 نوع ، واخيرا المركبة (Compositae) Composites ـ 20000 نوع .

الرتبة الفرعية ب

Subclass B

ذوات الفلقـة الـواحـدة Monocotyledoneae (Monocotyledons)

انواعها 55000 جنينها بفلقة واحدة ، اجزاؤها الزهرية ثلاثية فى العادة ، النسيج الوعائى للساق يجد عادة فى حزم وعائية مبعثرة . تخلو عادة من الكمبيوم ، اوراقها ذات تعرق متوازٍ ، اغلبها من العشبيات والبعض من الاشجار . نورد فيما يلى العائلات الكبرى مرفقة بعدد الانواع على النحو التالى :

الزنبق ـ الزنبقية (Liliaceae) Lily ـ 4200 نوع ، السعد ـ السعدية (Cyperaceae) Sedge ـ 4100 نوع ، النخيل ـ النخلية (Palmaceae) Palms ـ 2600 نـوع ، الانـانـاس ـ البـرومـاليـة Pineapple (Bromeliaceae) ـ 1300 نوع ، النجيل ـ النجيلية (Gramineae) Grass ـ 7500 نـوع ، الاركيـد ـ الاركيدات (Drchidacaceae) Orchid ـ حوالى 25000 نوع .

الخلاصة Summary

1ـ يتألف النظام الثنائى لتسمية النبات من اسم الجنس . واسم النوع علاوة على ذلك فلبعض النباتات اسم صنف ايضا . تبرز الاسماء العلمية العلاقات التى ربما لاتظهر فى الاسماء العامة .

2ـ عند تصنيف النباتات يدخل النوع ضمن الجنس ، وتجمع الاجناس فى عائلات ، وتتجمع العائلات فى فصائل ، بينما تتجمع الفصائل فى رتب ، وبالتالى الرتب فى اقسام ، تلك الاقسام التى تشكل فيما بينها احد التجمعات الكبرى للمملكة النباتية . هناك تجمعات بينية امثالها الاقسام الفرعية والرتب الفرعية والخ .

3ـ ترجع بداية تسمية النباتات الى العصور القديمة . ولقد بدأت تسمية النباتات وتصنيفها منهجيا من دراسات ثيوفراستس وهو من بين الذين اسهموا فى التعريف بالعائلات النباتية واجناسها وشرحها

4ـ لقد حفز جامعو الاعشاب بنشاطهم الذى بدأ فى القرن السادس عشر ، عملية تصنيف النباتات على الرغم من ان هدفهم الرئيسى قد انحصر فى الكشف عن الاستخدامات الطبية للنباتات .

5- وضع العالم لينايوس النظام الثنائى لتسمية النباتات - اى تخصيص اسم مزدوج لكل نوع كما طور نظاما اصطناعيا للتصنيف وانتشر فى التطبيق انتشارا واسعا .

6- يمكن لنظم التصنيف ان تكون اصطناعية او طبيعية او مبنية على تاريخ التطور السلالى . اما النظم الاصطناعية فهى نظم سهلة تقوم على اخذ بعض السمات فى الاعتبار وربما تكون استخداماتها الهامة محدودة . روعى ان تتضمن النظم الطبيعية اكبر قدر ممكن من الصفات وشاع استخدامها قبل اعتماد نظرية التطور العضوى، تستخدم النظم القائمة على تاريخ التطور السلالى اوجه الشبه فى التركيب وغير ذلك من الصفات المميزة فى سبيل ترتيب الكائنات الحية فى نسق متتابع يكشف عن العلاقات التطورية .

الطحالب
Algae


19

الطحالب
Algae

يعتبر عامة الناس ان كلمة «نبات» تعنى كائنا حيا يحتوى بالضرورة على جذور وسيقان واوراق . وبالفعل فالكثير من انواع النباتات يحتوى طبعا على الاعضاء المبينة سابقا ، غير ان قسماً كبيرا من افراد المملكة النباتية يتألف من اشكال للحياة تتطلب تكوينات ابسط من ذلك بكثير . ومن بين الاشكال البسيطة هذه نجد زبد (ريم) البرك (pond scums) والحشائش البحرية seaweeds وما شـبهها، تلك التى تلقب فى مجموعها بالطحالب . لا تحظى هذه النباتات فى العادة باهتمام كبير ، فالكثير منها صغير الحجم غير جذاب للنظر ، يخلو من الجمال. وعلى الرغم من ذلك فللطحالب اهمية كبرى ناتجة عن موقعها بين النباتات التى تقطن عالمنا ، كما وانها تدخل ضمن مقومات حياة الانسان فى جوانب شتى .

الصفـات العـامـة General Characteristics

تحتوى الطحالب على انسجة غير متمايزة نسبيا ، أى ان هذه الانسجة لا تتمايز ابدا بقدر يكفى لتكوين جذور حقيقية وسيقان او اوراق . تحوى غالبية الطحالب مادة الكلوروفيل ، لذا فهى ذاتية التغذية الضوئية photoautorophic . يسمى جسم النبات فى الطحالب بالثالوس thallus . ويستخدم هذا المصطلح حتى اذا كان النبات احادى الخلية . تصنف الطحالب جنبا الى جنب مع البكتريا bacteria والفطريات fungi فى مملكة فرعية كبرى تحوى كل النباتات اللاوعائية nonvascular والمسماة بالثالوسيات Thallophytes .

تعتبر الطحالب وغيرها من الثالوسيات اشكالا «دنيا» لحياة النبات . أى تلك المرتبطة كثيرا بالكائنات الحية الاولى والاكثر بدائية على الارض . تشير صفة «الدنيا» الى الافتقار فى التعقيد التركيبى ، اكثر مما تشير الى أى نقص فى قابلية التأقلم مع البيئة المحيطة . فالثالوسيات قادرة تماما على التأقلم مع نمط حياتها ، مثلها فى ذلك مثل النباتات «الراقية» higher ، مثل السرخسيات والمخروطيات والنباتات الزهرية . على الرغم من ان للطحالب بشكل عام تركيبا تنظيميا بسيطا نسبيا ، غير ان العديد من مجاميعها يتسم بدرجات من التعقيد تزيد كثيرا عن غيرها ، ليس هذا فقط بالنسبة للتمايز التركيبى ، ولكن ايضا بالنسبة لطرائقها فى التكاثر . تجسد هذه الطرائق عددا من الاتجاهات التطورية ، وبذا تساعد دراستها على فهم علاقاتها مع النباتات الراقية ، وكذلك على ادراك حياة النبات الغنية بالتباينات والتى تغطى الآن اديم الارض وتتخذ من مياهها مأوى .

على الرغم من سعة انتشار الطحالب ، إلا ان هناك العديد من الاسباب التى تساعد على إغفالها وعدم ملاحظتها . فالطحالب تعيش فى الغالب فى بيئات مائية ، سواء اكانت مياهها عذبة أو مالحة ، بل يحدث حتى ان تعيش فى حفر الماء أو البرك المؤقتة التى تظهر فى الصحراء . يجب التنويه هنا الى ان هناك انواعا منها توجد على اليابسة فى الترب الرطبة او على الصخور او سطح الثلوج ، بل وتتخذ احيانا من سطوح بعض النباتات وجلود الحيوانات مأوى لها . «فالحزازيات» الخضراء التى كثيرا ما تلطخ «او تصبغ» قلف الاشجار خصوصا على جانبها الشمالى ، ليست الا من الطحالب . ينمو بعض انواع الطحالب بنشاط على الثلوج ، مما يضفى عليه حتما لونا ورديا ظاهرا . والاغرب من ذلك ان بعض انواعها ينمو بنجاح حتى فى الينابيع الساخنة . لقد عثر على «نموات» للطحالب فى الكهوف والمناجم ، التى تمتد مئات الامتار تحت سطح الارض . تحدث هذه النموات بالقرب من مصابيح الكهرباء ، التى تستمد منها الطاقة الاشعاعية التى تجعل البناء الضوئى ممكنا . وعلى وجه العموم فان عمليات تأقلم الطحالب مع البيئات المختلفة يمكن مقارنتها بتلك العمليات التى تحدث فى أى مجموعة نباتية اخرى ، بل ربما تفوقها .

وعلى وجه العموم فهناك مايقارب من 30,000 نوع من الطحالب اغلبها بحرية . وعلى ما يبدو فان انواع الطحالب التى تعيش فى الماء العذب قد تمتعت باستقلالية التطور عن تلك التى اتخذت من الماء المالح مقرا . ان عائلات الطحالب التى تشمل الانواع القادرة على العيش فى كل من الماء العذب والمالح تعتبر قليلة نسبيا .

تتخذ الانواع العديدة من الطحالب الوانا شتى تتراوح بين الاخضر والاخضر المصفر والاخضر المزرق والاحمر والاصفر والبرتقالى والاخضر الزيتونى «الزيتى» فالبنى . تتخذ قسما اشكالا كروية وقد تكون على شكل الخيوط والصفائح والاشرطة وكذلك انواعا تأخذ اشكالا متفرعة . بعض الطحالب كبير الحجم وبعضها رقيق ورشيق . تتفاوت الطحالب كثيرا فى احجامها . الكثير من انواعها احادى الخلية unicellular توجد عائمة او طافية وهى مجهرية الحجم،وربما يبلغ طول اكبر انواع الطحالب ، وهو عشب (صمول) البحر kelps ، ويعيش فى المياه البارده للمحيط الهادى ، مايزيد على الثلاثين مترا . اغلب الطحالب من النباتات الصغيرة والكثير منها ما يتمتع بالقدرة على الحياة مستعيضا عن نقص حجمه بزيادة عدده نتيجة لسرعة تكاثره فالكثير من الانواع الشائعة تتكاثر بسرعة تكفى لاختناق البرك والينابيع غير النقية ، حتى ان بعض اجزاء البحار والمحيطات تتلون بلونها .

تنمو الطحالب على شعر الاصابع الثلاثة للذب الكسلان sloth ، وربما تكون كميات الطحالب وفيرة بدرجة تضفى مسحة خضراء على شعر الحيوان الرمادى . وفى بيئة مخالفة تماما ، تغطى المستعمرات الكبرى من الطحالب (الدياتومات diatoms) بطون الحيتان الزرقاء ، وهى اضخم الحيوانات الحية ، مما يبدو انها تزدهر وتترعرع فوق هذا «الموطن» غير العادى . فهذه الطحالب المجهرية المائلة الى الصفرة تصبح وفيرة بدرجة أن الحوت الازرق يسمى احيانا بالحوت كبريتى البطن بسبب لون طحالبه .

يعيش عدد من الطحالب الخضراء ايضا فى ظل علاقة تكافلية mutualistic relationship مع الفطريات (فصل ـ 21) ومع انواع عديدة من الحيوانات . تعيش بعض انواع الطحالب الخضراء احادية الخلية ضمن شعبة الحيوانات وحيدة الخلية protozoa . فربما يحوى البراميسيوم paramecium الاخضر الكبير عشرات من خلايا الطحالب الحية . توجد الطحالب فى الحيوانات وحيدة الخلية كالفورمانيفرا Fhoraminifera والدولابى أو الدوار (حيوان مجهرى مائى) rotifers والهيدرا hydra وغيرها من اللاحشويات (مجوفة البطن اللافقرية) coelenterates واسفنجيات المياه العذبة sponges ، والمستعمرات المرجانية reef-building corals والحلزونات snails ، وربما تكون اغلب العلاقات الغير عادية تلك التى تحدث بين الطحالب الخضراء وحيدة الخلية المتحركة وبين الديدان المفلطحة (Convoluta) ———— flatworm . ولا يزيد طول الدودة عن بضعة ملليمترات وتوجد فى مجموعات كثيرة العدد على الشواطىء الرملية للساحل الشمالى لفرنسا . لقد تم التعرف على اربع مراحل من هذه العلاقات . ففى المرحلة الاولى تتغذى الحيوانات حديثة التفقيس او التفريخ العديمة اللون ، بنشاط لعدة ايام على كائنات حية دقيقة موجودة فى

بيئتها واثناء هذه الفترة فى العادة ايضا تبتلع خلايا الطحالب اى «تصاب» الديدان بالطحالب واذا حدث ان منعت هذه الاصابة فى ظل الظروف المختبرية فسرعان ما يتوقف الحيوان عن تناول غذائه ومن ثم يموت . تتكاثر الطحالب بسرعة فائقة اثناء المرحلة التالية وذلك فى جسم الحيوان ، ومن ثم تترتب فى صفوف تحت جلده مكسبة اياه اللون الاخضر الغامق . تستمر الدودة فى التغذية غير ان ما تتناوله من طعام يضاف اليه نواتج خلايا البناء الضوئى ونعنى بها السكريات وربما الدهنيات والبروتينات . ويعتقد ان دور الطحالب فى هذه المرحلة يعتبر هاما فى الانتفاع بالمخلفات النتروجينية الناتجة عن الحيوان الذى لا يملك نظاما افرازيا . وفى اثناء المرحلة الثالثة التى تتميز بالقصر نسبيا يتوقف الحيوان عن تناول الطعام ويعيش كلية عن المواد الغذائية التى تجهزها له هذه الطحالب الخضرا واخيرا ففى المرحلة الرابعة التى تواكب انتاج البيض تهضم الدودة الخلايا الخضراء فاقدة بذلك لونها الاخضر . وتسمى هذه العلاقة بين النبات والحيوان بالتكافلية mutualism ولكنها فى واقع الامر ماهى الا تطفل اجبارى obligatory parasitism ، ذلك لأن الدودة لا تستطيع ان تعيش بدون الطحالب alga كما وان الاخيرة تلقى حتفها هى الاخرى .

البناء الضوئى وصبغات الطحالب : Photosynthesis and Algal Pigments تعتمد الطحالب ، مثلها مثل غيرها من النباتات ضوئية التغذية phototrophic ، على عوامل بيئية مثل درجات الحرارة وشدة الضوء المناسبة والتزود بالكميات المناسبة من الاوكسجين وثانى اوكسيد الكربون وغيرها من العناصر الضرورية . وذلك لتأمين نموها وتكاثرها بصورة طبيعية ويعتبر الضوء عاملا مهما ، مما يحدد العمق الذى يمكن ان تعيش فيه الطحالب ـ ففى حالة الطحالب البحرية يعتبر الحد الادنى العملى حوالى 100 متر ، غيران بعض الانواع ربما تستطيع النمو فى اعماق اكثر من ذلك بكثير . وبزيادة العمق تمتص مياه البحر الضوء امتصاصا انتخابيا ، بدءا بالموجات الحمراء الاطول فالبرتقالية فالصفراء وتبقى بالطبع الموجات الزرقاء والخضراء فقط . ومن هنا يظهر ان الضوء الذى تتلقاه صفائح البناء الضوئى ربما يفتقر للكم والنوع معا .

وربما تشارك صبغات الطحالب ، غير الخضراء فى عملية البناء الضوئى ايضا . تصنف صبغات الطحالب على الوجه التالى : 1 ـ الكلوروفيلات chlorophylls 2 ـ الكاروتينيات carotenoids 3 ـ الفيكوبيلينات phycobilins ومنها صنفا الفيكوسيانين phycocyanin والفيكوارثرين phycoerythrin . تتضمن كل اقسام الطحالب كلوروفيل (a) وربما تتواجد انواع الكلورفيل (b) , (c) , (d) او (e) . ويكون الكلوروفيل فى كل اقسام الطحالب ماعدا الخضراء فإنها مموها بشدة بوجود صبغات اضافية اخرى غير كلوروفيلية مثل الكاروتينيات او الفايكوبيلينات وعلى سبيل المثال يرجع لون الطحالب البنية اساسا الى وجود احد الزانثوفيلات Xanthophyll ، كما يرجع لون الطحالب الحمراء الى وجود الفيكواريثرين ، ويرجع لون الطحالب الخضراء المزرقة الى وجود الفيكوسيانين تساعد هذه الصبغات غير الكلوروفيلية الاضافية على الانتفاع الاكبر والاكفأ بالضوء المتاح ، بالاضافة الى امتصاص الضوء بواسطة كلوروفيل (a) . ومع ذلك فالطاقة الممتصة بواسطة الصبغات الاضافية لا تساهم مباشرة فى عملية البناء الضوئى ولكنها تنقل الى كلوروفيل (a) ومن ثم يتم استخدامها بواسطة هذه الصبغات .

جسم النبات The Plant Body

يختلف جسم النبات فى الطحالب كثيرا . فبعض الاشكال الوحيدة الخلية تتسم بالحركة وبعضها ثابت لا يتحرك ، كما تختلف اجسام هذه النباتات فى الشكل العام ايضا ، واغلبها مجهرى الحجم تتجمع الخلايا فى العديد من الانواع فى تجمعات تعرف بالمستعمرات colonies . والاخيرة ربما تكون شريطية filamentous (أى تشبه الخيط) ، أو تتخذ اشكالا اخرى . إن انواع الطحالب الشريطية تكون فى العادة عديدة الخلايا مع ترابط الخلايا من نهاياتها مكونة بذلك خيوطا متفرعة او غير متفرعة ، يزيد طولها بدرجة يمكن رؤيتها بالعين المجردة . وخلية الشريط القاعدية تكون خلية تخصصية فى المعتاد تسمى بالماسكة holdfast ، وتقوم بوظيفة المخطاف الذى يثبت الشريط على احد الصخور أو على عصا مثلا او فى رمل أو وحل القاع وذلك فى النادر .

أما مستعمرة الطحالب اللاشريطية non-filamentous

colony فهى فى العادة عبارة عن تجمعات كروية من الخلايا او صفيحية ، وتخلو من الخلية القاعدية الماسكة ، وربما تكون الخلايا فى المستعمرة هذه متمتعة باستقلالية عن بعضها البعض او ربما ترتبط بروابط سيتوبلازمية cytoplasmic strands . يحدث كثيرا ان تغلف المستعمرة برمتها بغلاف جيلاتينى واحد . إن الطحالب الخضراء والخضراء المزرقة ، والخضراء المصفرة وكذلك الدياتومات diatoms هى مجاميع تحوى اشكالا عديدة احادية الخلايا وكذلك تشتمل على مستعمرات شريطية ولا شريطية أما الأشكال أحادية الخلايا والمستعمرات اللاشريطية فتعتبر نادرة بين الطحالب الحمراء والبنية ، كما وينـدر أيضا بين الأخيرة شكل الشرائط البسيطة . يتكون ثالوس Thallus ، هذه الطحالب فى العادة من شرائط عديدة متضاغطة كثيرا مع بعضها البعض بحيث تظهر فى القطاع مايشبه كثيرا أنسجة البرنشيما فى النباتات الراقية . يتضمن العديد من أنواع الطحالب الحمراء والبنية تمايزات خارجية وداخلية تتخذ حجما معتبرا .

إن أهم مايبرز من سمات خلايا الطحالب ، البلاستيدات Plastids ، ويظهر هذا جليا تحت المجهر . تتفاوت أعداد البلاستيدات من واحدة الى العديد منها ، وتتفاوت فى الشكل كثيرا أيضا . توجد فى الكثير من أنواع الطحالب منطقة بروتينية تخصصية تعرف بمراكز تجمع النشأ Pyrenoid ضمن البلاستيدة . وفى العادة يحاط مركز تجمع النشأ فى الطحالب الخضراء بغمد من حبيبات النشأ ، ويكون متمركزا داخل البلاستيدة الخضراء . وربما توجد جسيمات شبه نشوية فى الأنواع الأخرى من الطحالب ، ويكون مقرها السيتوبلازم خارج البلاستيدة .

التكاثر Reproduction

تتنوع طرق التكاثر فى الطحالب حسب تنوع طبيعة جسم النبات ، ويهتم الاختصاصى بالاختلافات التفصيلية فى هذه العملية بسبب أهميتها فى تصنيف الطحالب وبسبب اهميتها التطورية . ومع ذلك يفضل أن يدرس تكاثر الطحالب بالنسبة للمبتدىء بصفة عامة .

التكاثر اللاجنسى والخضرى : *Asexual and vegetative reproduction*

اثناء دراسة الأشكال الأدنى لحياة النبات ، هناك خط فارق أحيانا بين التكاثر اللاجنسى والتكاثر الخضرى . إذ يتم التكاثر اللاجنسى عبر تكوين السبورات اللاجنسية (زوسبورات) Zoospores أو غيرها من السبورات الغير مشتقة نتيجة للعملية الجنسية . والتكاثر عن طريق السبورات اللاجنسية هو الأشيع ، ويقصد بالسبورات اللاجنسية ، من اسمها تشبيهها بأشباه الحيوان . وهى أجسام عارية أحادية الخلية ؛ ونقصد من هذا أن لها غشاء خلويا وليس جدارا خلويا حقيقيا . والسبورات اللاجنسية عبارة عن خلايا متحركة بالسباحة الحرة ويتسبب فى حركتها وجود سوط Flagellum أو أكثر ، والاخيرة عبارة عن خيوط تشبه السوط تتصل طرفيا ، وأحيانا جانبيا بالسبورات اللاجنسية ، ربما تكون الخلية الخضرية سبورا لاجنسيا واحدا أو أكثر ، وتتحرر السبورات اللاجنسية مع تحطم جدار الخلية الأم Parent Cell ، وربما يعطى كل سبور لاجنسى نباتا جديدا .

يحدث التكاثر الخضرى نتيجة لإنقسام الخلية Cell Division أو بالتجزؤ (التشظى) Fragmentation . يتكاثر الكثير من أنواع الطحالب وحيدة الخلية بواسطة انقسام الخلية ، مكونة بذلك خليتين بنويتين Daughter Cells ، وتكون كل واحدة منهما نباتا مستقلا وربما تنفصل الخليتان البنويتان على الفور ، أو ربما تبقيان متصلتين معا لبعض الوقت مكونتين مايشبه المستعمرات الحقيقية . وربما تكون هذه الطريقة هى الوحيدة للتكاثر بين مثل هذه الأنواع ، أو ربما تكون مصحوبة بطرائق أخرى ، أما التكاثر بالتجزؤ ، فيقع عندما تنشطر مستعمرة لاشريطية ناضجة مكونة جزئين أو أكثر ، أو عندما يتكسر (أو ينقسم) الشريط الواحد أو غير ذلك من الأجسام المركبة إلى أجزاء . يعم التكاثر الخضرى ليس فقط بين زبد (ريم) البرك الأصفر ، ولكن أيضا بين الأشكال الأكبر من الطحالب البنية والحمراء ، وفى كلتا المجموعتين تنفصل أجزاء من جسم النبات مكونة أفرادا مستقلة .

التكاثر الجنسى : *Sexual reproduction*

يدخل ضمن التكاثر الجنسى فى الطحالب ، مثلها مثل النباتات الراقية ، تكوين أمشاج Gametes . والمشيج خلية تنمو مكونة فردا جديدا ، شريطة أن يسبق ذلك اندماج Fusion المشيج مع مشيج آخر . يوجد فى الطحالب نوعان رئيسان من التكاثر الجنسى . فالنوع الأول ويسمى بمتساوى الأمشاج أو متماثل الأمشاج Isogamy ، ونعنى بذلك أن تكون الأمشاج متساوية الحجم تقريبا وكثيرا ماتكون متحركة . واذا نتج عن ذلك زيجوت Zygote سميك الجدران حيث يدخل فى طور السكون Resting Stage ، وهذه هى الحالة الشائعة ويسمى حينئذ بالزيجوسبور Zygospore أما

النوع الثانى ويسمى بغير متماثل الامشاج Oogamy ، وفيه تكون الأمشاج غير متساوية فى الحجم ، ويخصب فيه مشيج ذكرى صغير ومتحرك (سبرم Sperm) مشيجا أنثويا كبيرا غير متحرك (البيضة egg) . واذا لم تنبت البيضة المخصبة من فورها بان تدخل فى فترة سبات فانها تسمى عندئذ بالبيضة المخصبة Oospore . فى النوع غير المتساوى الأمشاج تحمل الأخيرة داخل خلايا تخصصية تتمايز عن الخلايا الخضرية للثالوس . والمعروف عن الكثير من الطحالب أنها متباينة الثالوس Heterothallic ؛ ويلزم لإحداث التكاثر الجنسى فى هذه الأنواع تواجد نوعين أو نمطين قرينين وقادرين على التنافس .

فى العديد من مجاميع الطحالب وخصوصا الخضراء منها ، والخضراء المصفرة والبنية الذهبية ، يعتبر الزيجوت عادة هو الخلية الوحيدة للجيل ثنائى المجموعة الكروموسومية Diploid . ان انقسام نواة الزيجوت عند الانبات Germination يتم بواسطة الانقسام الاختزالى Meiosis ، ممايؤدى الى نشأة أربعة سبورات متحركة (ونادرا ماتكون غير متحركة) ، يتمكن الواحد منها من تكوين نبات جديد . وتسمى هذه السبورات المتحركة ايضا بالزوسبورات Zoospores ، غير أن هذه التسمية تؤدى الى حدوث خلط بين المقصود وبين الزوسبورات الناشئة عن التكاثر اللاجنسى ، ذلك الذى يجرى فى النبات احادى المجموعة الكروموسومية Haploid Plant . وبناء على ذلك فان السبورات المشاركة فى عملية الانقسام الاختزالى كجزء من عملية التكاثر الجنسى ، قد سميت بسبورات الانقسام الاختزالى Meiospores . ويمكن أن ينسحب هذا المصطلح عند الرغبة على المجاميع النباتية الأخرى وكذلك الطحالب .

تصنيف الطحالب Classification of the Algae

استمر للعديد من السنوات تصنيف الطحالب أساسا وفق صبغاتها البارزة ومن هنا قسمت الى أربع مجاميع (رتب Classes) : الخضراء المزرقة Blue - Green ، والخضراء Green ، والبنية Brown والحمراء Red . وعلى الرغم من أن التصنيفات الحديثة لازالت تأخذ فى الاعتبار وجود صبغات بعينها ، إلا أنه يؤكد أيضا على سمات أخرى منها علم الخلية Cytology ، وتاريخ الحياة . والطبيعة الكيميائية للنواتج الاحتياطية وجدار الخلية ، وكذلك عدد الأسواط وترتيبها وتركيبها . ومن هنا أعيد ترتيب الرتب الأربع الى عدة أقسام تتراوح فى عددها بناء على جهة الاختصاص . يعتمد هذا الكتاب سبعة أقسام واضحة (فصل ـ 18) .

السوطيات : The Plant Body

قبل استعراض أقسام الطحالب ، يستحسن تناول السوطيات بقليل من الشرح . فالسوطيات مجموعة من الكائنات الحية غير المتجانسة Heterogenous ، وتشخص جزئيا بوجود تكوين ذيلى طويل يشبه السوط ويسمى باسمه Flagellum ، تكتسب السوطيات بوجوده القدرة على الحركة . تحوى بعض الخلايا سوطا واحدا ، بينما يحوى بعضها الآخر سوطين أو أكثر ، وقد يصل العدد الى ستة . إن غالبية السوطيات احادية الخلية ، إلا أن بعضها يأخذ صورة المستعمرات . لبعض السوطيات جدار خلوى صلد ، بينما لايكون للبعض الآخر إلا طبقة خارجية محددة قد تكون جاسئة أو مرنة بما يتيح إحداث تغيرات فى شكل الجسم . ولكون السوطيات مختلفة من حيث تركيبها (شكل 19 ـ 1) ، ومن حيث صبغاتها ، ومن حيث نوعية النواتج المختزنة ، لذا تنقسم الطحالب على نفسها الى أقسام عديدة ، نذكر منها اليوجلينية Euglenoids ، والخضراء والخضراء المصفرة ، والدينوسوطيات Dinoflagellates . وتكثر بشدة فى كل من المياه العذبة والمالحة .

من أطرف سمات السوطيات المهمة اختلافها الكبير فى طرق تغذيتها . فأغلبيتها يعتبر ضوئى التغذية ويحمل الكلوروفيل ، ولكن علينا أن نذكر هنا أن عددا كبيرا منها لايتمتع باكتمال تغذيته الضوئية إذ تعتمد هذه الأنواع على مصدر خارجى لبعض عوامل النمو ـ ونعنى بهذا الاستحواذ من مصدر خارجى على واحد أو اكثر من فيتامينات B-12 والثيامين Thiamine والبيوتين Biotin ، تتوافر مثل هذه الفيتامينات ، على الأقل بالنسبة للكثير من الأنواع ، بفعل بكتريا البيئة المحيطة . لقد وجد أن الكثير من أنواع الطحالب ليس فقط السوطيات ولكن أيضا غيرها من الطحالب الصغرى ـ أحادية الخلية وغير المتحركة ، والمستعمرات ، وحتى متعددة الخلايا ـ تعانى من قصور فى المقدرة على تخليق واحد أو أكثر من هذه الفيتامينات. لاتستطيع بعض سوطيات البناء الضوئى النمو الا فى الضوء ؛ بينما يتمكن البعض الآخر من النمو بمعزل عن الضوء أيضا . إذ يتمتع بتغذية غير ذاتية Heterotrophic ، بحصوله على الغذاء من محلول ينفذ خلال غشاء الخلية . بعض الطحالب غير ذاتية التغذية وعديمة اللون باستمرار . وربما تتحصل هذه الأنواع على غذائها على هيئة محاليل أو تتشابه مع الحيوان فى تناول غذائها بصورة معينة من خلال مايشبه الفم والبلعوم (التغذى على المواد الصلبة بابتلاعها Phagotrophism) . وهناك من الأنواع مايجمع بين وجود الكلوروفيل والتغذية على المواد الصلبة بابتلاعها

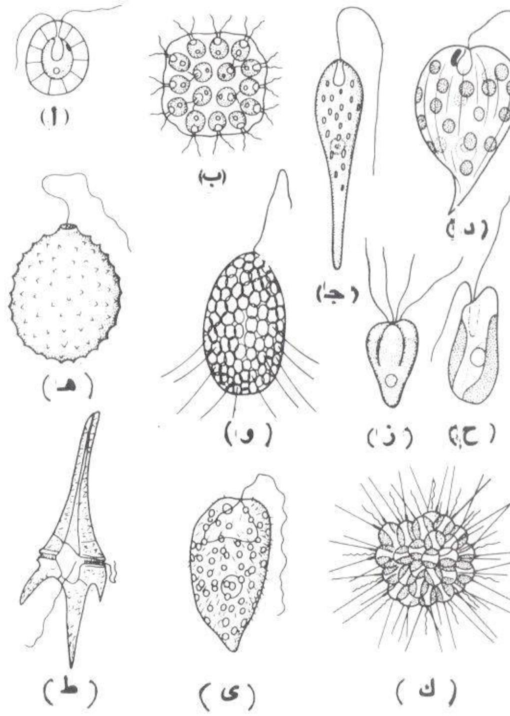
لقد أثارت السمات النباتية الحيوانية للسوطيات تساؤلات دامت زمنا طويلا ودارت حول تصنيفها مما جعل تلك الكائنات الحية موضوعا لمهاترات دارت كلها حول مبدأ التطور . كانت أحدى وجهات النظر المطروحة قد تبلورت فى الأساس حول اعتبار أن السوطيات كانت من النباتات ضوئية التغذية ثم اكتسبت سمات الحيوان ومنها التغذية بالمواد الصلبة عن طريق الابتلاع . ويستند فى ذلك الى أن الكثير وان لم يكن كل النباتات غير ذاتية التغذية وعديمة اللون ، سواء تحصلت على الغذاء بصورة محلولة أو صلبة تعود بصلة قرباها الى سلالات الأشكال الصبغية من خلال التشابه فى الشكل العام (المرفولوجى) والنواتج المخزونة . وانطلاقا من هذا المبدأ تعتبر السوطيات من النباتات ذات الميول الحيوانية .

هناك رأى آخر مفاده ، أن السوطيات ليست بالنباتات ولابالحيونات ويتوجب وضعها فى مملكة ثالثة تسمى مملكة بروتيستا (أو الاحياء الاولية) Protista ، وهى الحلقة الواصلة بين المملكتين الحيوانية والنباتية . وتتضمن هذه المملكة الطحالب الاخرى والبكتريا والفطريات اللزجة Slime molds والفطريات Fungi والبرتوزوا (الوحيدة الخلية) Protozoa . تتسم البروتستا بتراكيبها البسيطة ، ونعنى بهذا أنها أحادية الخلايا أو تكون من مدمج خلوى (أى من خلية متعددة الأنوية) Coenocytic ، أو عديدة الخلايا ، ولكنها لاتتمايز الى نظام نسيجى تخصصى . وربما يكون مناسبا استخدام مصطلح البروتستا الذى يشمل الاشكال المجهرية والبسيطة التركيب من الاحياء ، حيث يكون من الصعوبة بمكان أثناء تصنيف الكثير من هذه الكائنات الحية وضع خط واضح يفصل بين النباتات والحيوانات .

من المحتمل أن تكون الكثير من السوطيات الحية تخصصية ، وذلك بمقارنتها بأسلافها . والأمر أن نسميها نباتات أو بروتيستا ، اذ تمكنا المجموعة ككل من اكتساب تصور ولو كان باهتا ، عن أسلاف تلك الاشكال ، التى ربما تكون قد خلفت مجاميع عديدة من مستعمرات طحلبية وأخرى من نوع متعدد الخلايا ، هذا من جانب ، ومن جانب آخر ربما تكون قد بدأت سلسلة البروتوزوا وبعض من الحيوانات متعددة الخلايا .

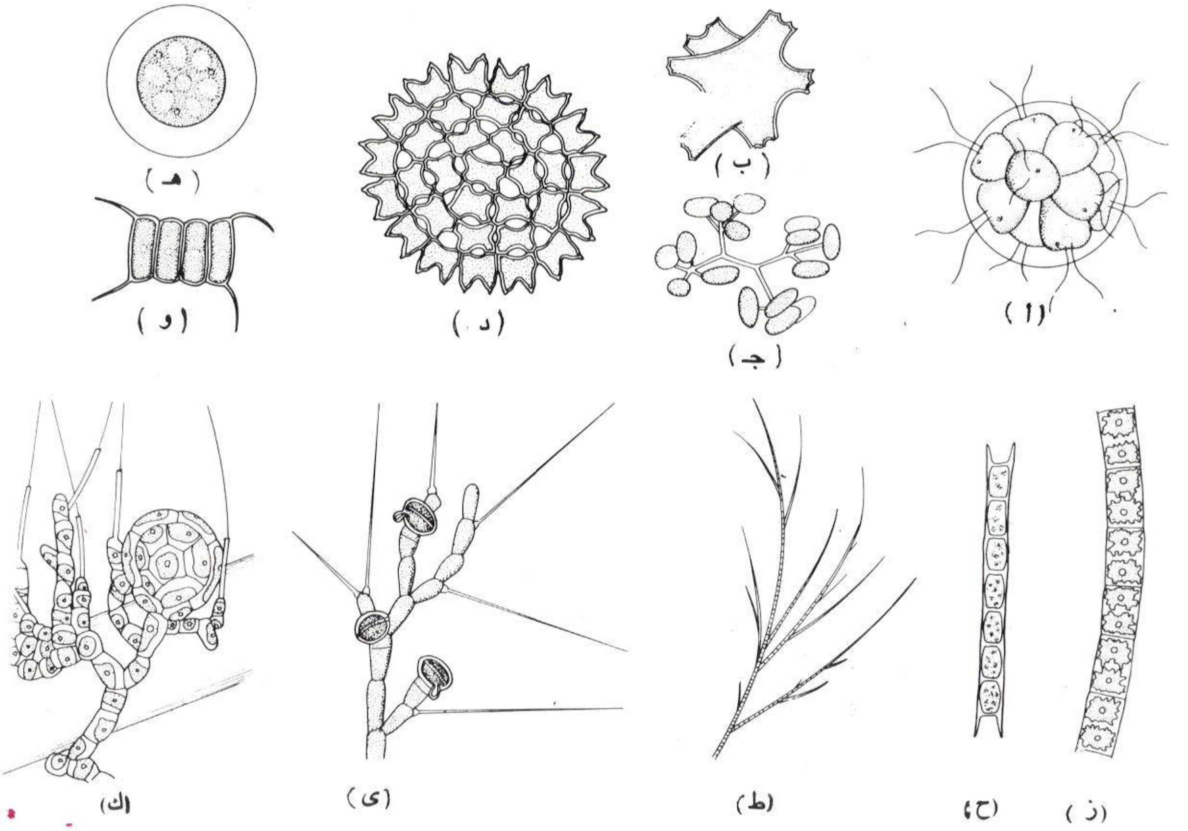
القسم الاول ـ الطحالب الخضراء : Division 1 The Green Algae

تتضمن الطحالب الخضراء ما يقارب من 7000 نوع ، بعضها مائى والآخر يعيش على اليابسة . تعيش العديد من الطحالب الخضراء فى البحار والمحيطات ، إلا ان ما يميز



شكل (19ـ1) سوطيات تعود الى اقسام مختلفة من الطحالب . تعتبر كلها ضوئية التغذية فيما عدا الاستاسيا Astasia وهى نوع من الرميات saprophyte عديمة اللون .

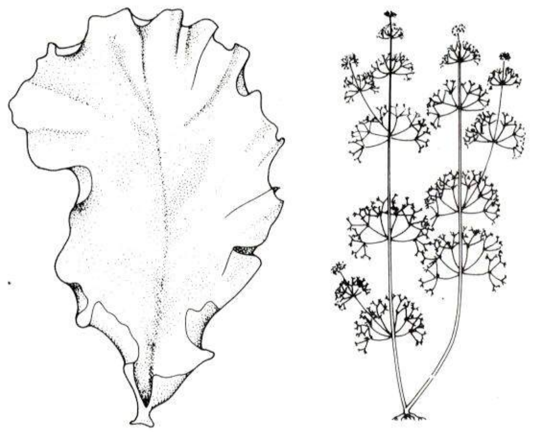
أ ـ كارتيريا	Carteria
ب ـ جونيوم	Gonium
جـ ـ استاسيا	Astasia
د ـ فاكوس	Phacus
هـ ـ تراكيلومونس	Trachelomonas
و ـ مالومونس	Mallomonas
ز ـ بيراميمونس	Pyramimonas
ح ـ كريبتومونس	Cryptomonas
ط ـ سيراتيوم	Ceratium
ى ـ جونيوستومام	Gonyostomum
ك ـ كريسوسفايريلا	Chrysosphaerella



شكـل (19ـ2) الطحـالب الخضراء من أ ـ و وطحـالب خضراء لاشريطيـة واحادية الخلية .

أ ـ باندورينا	Pandorina	ز ـ ك ـ طحـالـب خضراء شريطية	
ب ـ تترايدرون	Tetraedron	ز ـ زايجنيما	Zygnema
جـ ـ داكتيوسفايرم	Dictyosphaerium	ح ـ مايكروسبورا	Micro – spora
د ـ بيدياسترم	Pediastrum	ط ـ ستيجيوكلونيوم	Stigeolonium
هـ ـ استيروكوكس	Asterococcus	ى ـ بولبوكايت	Bulbochaete
و ـ سينيدسمس	Scenedesmus	ك ـ كوليوكايت	Coleochaete

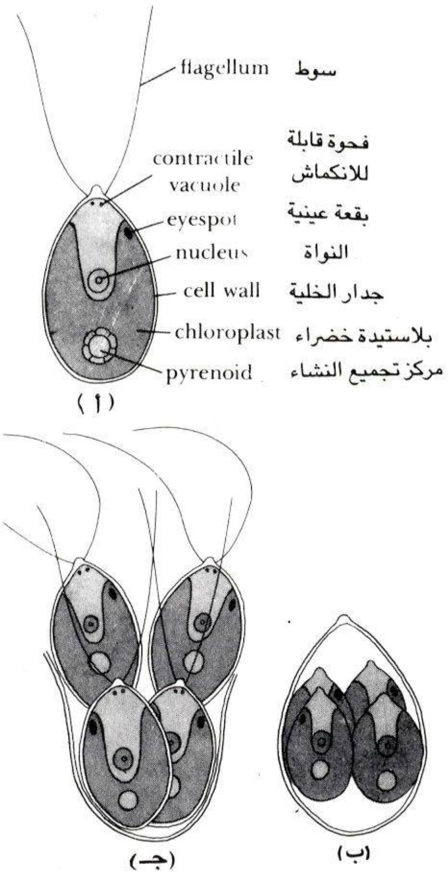
المجموعـة ككـل هـو انهـا تعيش فى المـاء العـذب . لا تتمتـع الطحالب الخضراء بدرجة عالية من التمايز ، فأفراد النباتـات تكون فى العادة عبارة عن خلية واحدة أو مستعمرة سواء أكانت شريطيـة او لاشريطيـة (شكـل 19 ـ 2) فى بـعض اجنـاس الطحالب الخضراء مثل الخس البحرى شبه الـورقى (Ulva) leaflike sea lettuce . والنبـاتـات الحجـريـة المتفـرعـة branched stoneworts (Nitella ، كـالنيتيـلا والكـارا) (chara ، يكـون جسم النبات اكثـر تعقيـدا الا ان حجمهـا لا يصـل الى الحجم الكبـير للطحـالب الحمـراء والبنيـة وتكـون الطحالب الخضراء إما حرة الطفو او مرتبطة بشىء مـا . غير ان الانواع ذات الماسكـات ربما تطفـو ايضا فى كتـل فوق سطـح الماء .



شكل (19ـ3) طحالب ذات اجسام معقدة التركيب
(على اليسار)ـ اولفا ulva
(على اليمين)ـ نيتيلا Nitella

تتألف جدران خلايا الطحالب الخضراء من السيليولوز اساسا ، وتحتوى الخلايا عادة على فجوة مركزية كبرى محاطة بطبقة من السيتوبلازم . ويتخلل السيتوبلازم بلاستيدة خضراء واحدة او اكثر وتحتوى كل بلاستيدة على مركز لتجميع النشاء محاط بغلاف من حبيبات النشاء .

يهتم كثيرا بالطحالب الخضراء من وجهة نظر تطورية بحتة ، حيث يعتقد ان النباتات الارقى والاكثر تخصصا التى تعيش على الارض قد نشأت من الطحالب الخضراء القديمة . تبرز بعض اشكال الطحالب الخضراء التى تعيش الآن بعضا من مراحل هذا التطور ، حيث يكون من المحتمل ان الكثير من انواع الطحالب الحية الان لم تتغير الا قليلا عبر حقب الزمن الطويلة من العصور الجيولوجية بل قد بقيت على حالتها البدائية نسبيا . ولا تكون مثل هذه الانواع قد خلفت انواع اكثر تطورا وربما تمثل بذلك مجرد الجانب الادنى من فروع شجرة التطور . ولكن بسبب تمثيلها الادوار المبكرة للنباتات فى ملحمة الحياة ، فهى تستحق الدراسة . يكون لزاما علينا اثناء مناقشة بعض انواع الطحالب الخضراء التى تمثلها عموما ، ان نأخذ فى اعتبارنا أى ضوء تسقطه منيرة درب تطور انواع الطحالب الاخرى الاكثر تطورا ، والدلائل التى تكشف عنها الدراسة فى موضوع طبيعة أسلاف العديد من انواع النباتات التى تكسو اديم الارض الآن .

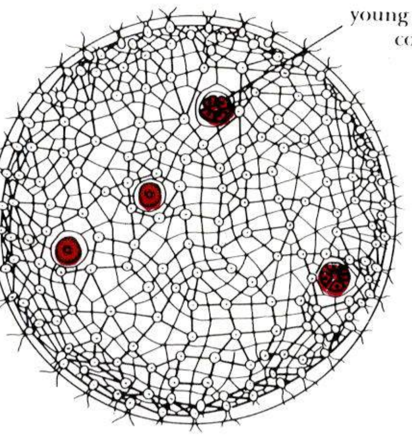


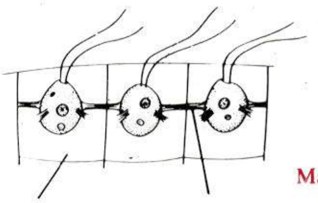
شكل (19ـ4) الكلاميدوموناس Chlamydomonas
أ ـ خلية واحدة
ب ـ تكاثر لاجنسى asexual ، الخلايا البنوية (الوليدة) بالغة تقريبا .
جـ ـ تحرر الخلايا البنوية .

بعض انواع الطحالب الخضراء المتحركة : Some Motile Green Algae

نستعرض الآن سوطيات الكلاميدومونس Chlamydomonas والفولفكس Volvox كأمثلة على هذه الطحالب .

الكلاميدو مونس : ***Chlamydomonas*** تعتبر انواع هذا الجنس احادية الخلايا ومتحركة وتوجد اساسا فى المياه العذبة





شكل (19ـ5) طحالب الفولفوكس Volvox
(الى اليسار) مستعمرة بالغة Mature colony
(الى اليمين) خلايا افراد المستعمرة

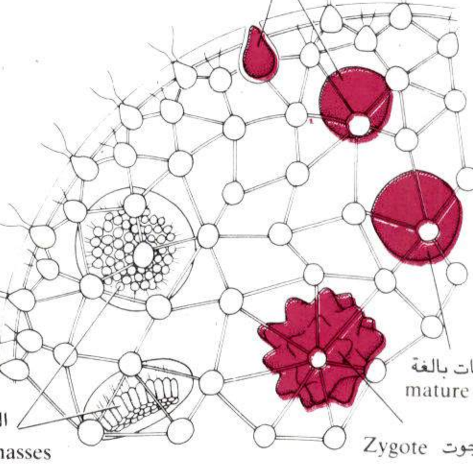
خصوصا البرك الراكدة . ويكون النبات اما كرويا او بيضويا ، وجدار خليته سيلولوزى (شكل : 19 ـ 4) يوجد سوطان فى الطرف الامامى للخلية ، كما تحتل بلاستيدة خضراء واحدة تشبه الكأس اغلب حجم الخلية . تحتوى الخلية على مركز واحيانا على اكثر من مركز لتجميع النشاء . توجد بالقرب من الجانب السوطى للخلية بقعة تشبه العين eyespot تحمل صبغة محمرة . ولهذه البقعة العينية حساسية ضوئية ووظيفتها تحديد الاتجاه الذى يسير فيه الكائن الحى استجابة للضوء . كما توجد بالخلية ايضا فجوتان قابلتان للانقباض وتقعان بالقرب من نقطة منشأ السوطين .

يعتبر التكاثر اللاجنسى فى الكلاميدومونس اكثر تخصصا عما فى غالبية السوطيات . ويتضمن هذا التكاثر انقسام الخلية الى ما يتراوح بين اثنتين وثمانى بروتوبلاستات بنوية . ويعقب ذلك ان تفقد الخلية الام سوطيها . ومن ثم تكون الخلايا البنوية جدرانها وتنبت اسواطها الجديدة ثم تتحرر عن طريق تحول جدار الخلية الام الى جيلاتين . كما ويحدث ايضا فى هذا الجنس التكاثر الجنسى متماثل الامشاج

الفولفوكس : *Volvox* من المحتمل ان السوطيات القديمة قد تطورت فى عدة اتجاهات مطلقة بذلك اشارة بدء تطور العديد من انواع الاجسام النباتية . ولنا ان نفترض ان احدى هذه السوطيات كانت مستعمرة لاشريطية نشأت من اخفاق الخلايا البنوية للسوطيات احادية الخلية فى ان تنفصل عن بعضها عقب انقسام الخلية ، وهكذا تعطى جسما نباتيا متحركا وعديد الخلايا وربما قد تحولت المستعمرة المتحركة الى اخرى غير متحركة عندما فقدت اسواطها فالكثير من اشكال المستعمرات اللاشريطية تكون خلايا كلها متشابهة ، غير ان خلايا معينة فى بعض انواعها قد تمايزت سواء بالتكاثر الجنسى أو اللاجنسى مجسدة بذلك مرحلة مبكرة من تقسيم العمل الذى يبرز بدرجة كبرى فى اجسام النباتات الاكثر تعقيدا فى التركيب .

ربما يكون مثالا واضحا على المستعمرات اللاشريطية المتحركة هو النبات الذى يعرف باسم الفولفوكس ويعيش فى البرك والبحيرات.والنبات كروى (شكل 19 ـ 5) ويتخذ حجما معتبرا حتى ان الواحد من افراده يمكن رؤيته بالعين المجردة . يتراوح عدد خلايا مستعمرة الفولفوكس من 500 ـ 20000 وتتلاصق الخلايا فى ترتيب بطبقة واحدة تؤلف جلد كرة مفرغة يمتلىء داخلها بصمغ نباتى مائى Watery mucilage . ويحيط بالمستعمرة كلها غلاف جيلاتينى ، كما وان كل خلية تحاط بدورها بغمد جيلاتينى ، وترتبط بالخلايا المجاورة باشرطة سيتوبلازمية . واذا اغفلنا الجدار الجيلاتينى نجد ان الخلية المفردة تتشابه كثيرا مع الكلاميدومونس ، إذ تحتوى على بلاستيدة خضراء واحدة ومركز لتجميع النشاء وفجوة وبقعة تشبه العين ، كما تحمل سوطين يتجهان الى الخارج مساهمين بذلك فى حركة المستعمرة .

يتم تكاثر مستعمرة الفولفوكس جنسيا وخضريا ، ويبرز النوع الاخير من خلال تكون مستعمرات عديدة اصغر داخل الكرة الام . وتتضخم خلايا خضرية معينة وتدفع بنفسها الى التجويف المركزى ، ومن ثم تبدأ فى سلسلة من الانقسامات



شكل (19ـ6) قطعة من مستعمرة الفولفوكس ،
يظهر فيها التكاثر الجنسي

ينتج عنها فى الاخير مستعمرات جديدة تطفو بحرية داخل المستعمرة الام parent colony . وتتحرر المستعمرات الجديدة ، بسبب تحلل المستعمرة القديمة . اما التكاثر الجنسى فى الفولفوكس (شكل 19 ـ 6) ، فيكون من نوع غير متساوى الامشاج اى ينشأ نوعان من الامشاج . ان النباتات التى تتكاثر جنسيا لا تكون عادة مستعمرات بنوية daughter colonies ، بل نجد ان بعض خلايا المستعمرة الام ، تأخذ فى التضخم دونما انقسام ، ومن ثم تكون بويضات غير متحركة بينما تأخذ الخلايا الاخرى فى الانقسام عدة مرات وتنتج سبرمات متحركة وعديدة تتجمع فى تجمعات مفلطحة او كروية تشبه كتل المستعمرات.وبعد الاخصاب يتضخم الزيجوت ويكون جدارا سميكا له ، واثناء النضج يبرز الزيجوت ويزداد وضوحا بفعل تكوينة لصبغة حمراء برتقالية . ويتحرر الزيجوت عن طريق تحلل المستعمرة الام ، ومن ثم يأخذ الزيجوت فى الانبات بعد مروره بفترة سبات نتيجة للانقسام الاختزالى meiosis تتكون اربع انوية . ومن بين انواع المجموعة يحدث فى واحد منها على الاقل ان تستطيع نواة واحدة فقط مواصلة الحياة ، بان تصبح نواه لسبور واحد متحرك يدعى بالسبور الاختزالى mèiospore ويظهر هذا الاخير من الزيجوت ، مكونا مباشرة مستعمرة جديدة .

بعض انواع الطحالب الخضراء غير المتحركة Some Nonmotile Green Algae

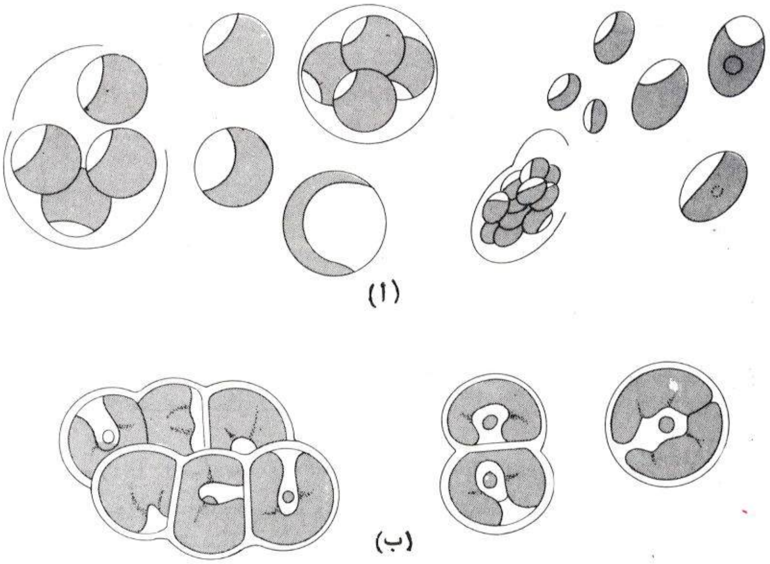
سنجرى ضمن هذه المجموعة مسحا مختصرا لبعض الاشكال الجديرة بالاهتمام .

الكلوريللا: ***Chlorella***
كل انواع هذا الجنس من المائيات ، وشكلها كروى أو بيضوى دقيق الحجم ، وتتألف اساسا من جدار خلوى وبلاستيدة خضراء بشكل الفنجان ونواة (شكل 19 ـ 7 أ) . لا تنشأ مستعمرات ولم يعثر بينها على التكاثر الجنسى . يتم فيها التكاثر اللاجنسى عبر تكوين سبورات غير متحركة وربما يصل عددها الى 16 ، داخل الخلية الام . وتتحرر السبورات بتحلل جدار الخلية المحيط ومن ثم تتضخم الى ان تصل الى حجم الخلية الام . ربما تكون النباتات مثل الكلوريللا قد نشأت من السوطيات الخضراء بعد فقدها لاسواطها كما ويمكن ايضا اعتبار ان السبورات غير المتحركة مجرد سبورات لا جنسية متحورة .

تعرف الكلوريللا اكثر ما تعرف من خلال الدراسات المختبرية التى تجرى على خلاياها بعد عزلها وتنميتها فى مستنبت غذائى خال من الكائنات الحية الاخرى . لقد استعملت الكلوريللا بتوسع فى الابحاث الخاصة بعمليات التحول الغذائى metabolic processes ، وخصوصا البناء الضوئى . ومن المجالات الهامة والشيقة فى نفس الوقت مجال دراسة آفاق الانتفاع بمزارع ضخمة من الكلوريللا بوصفها منتجا كفؤا للبروتين ، مثلها فى ذلك مثل غيرها من الطحالب احادية الخلية ، إذ تعتبر مصدرا جديدا ومتجددا للغذاء فى سبيل مواجهة الانفجار السكانى .

الديسميدات : ***Desmids*** تعتبر الديسميدات (شكل 19 ـ 8) ، من الطحالب الخضراء الطافية بحرية فى الماء . أغلبها أحادى الخلية ، على الرغم من أنه يحدث أحيانا أن تتحد خلاياها طرفيا مكونة بذلك مستعمرة شبه شريطية . إن مايميز أغلب الديسميدات تكوين وسطى يقسم الخلية الى شطرين متساويين ، يحوى كل منهما بلاستيدة خضراء أو أكثر (شكل 19 ـ 8) وهى شائعة وواسعة الانتشار فى مياه البرك والبحيرات .

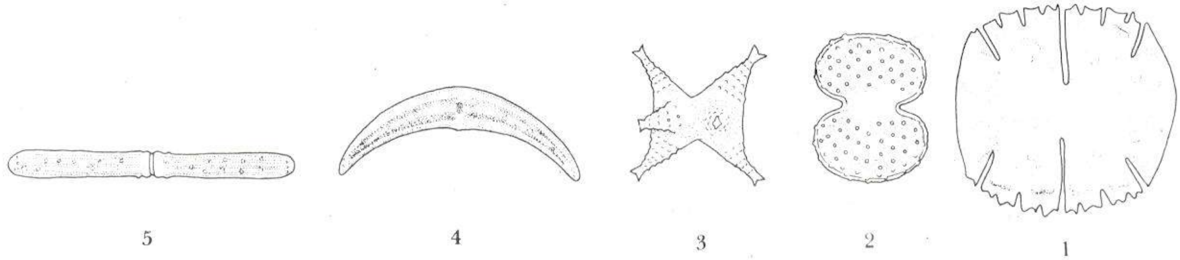
البروتوكوكس . ***Protococcus*** وتعتبر من اكثر انواع الطحالب الخضراء الصغيرة انتشارا وهى طحالب ارضية ، تنمو على هيئة غرقى (غشاء او فلم) film ، اخضر رقيق يكسو الاحجار الرطبة والجدران والاسوار والاعمدة وقلف الاشجار وخليته كروية (شكل 19 ـ 7 ب) تحوى بلاستيدة خضراء



شكل (19ـ7)

أ ـ الكلوريلـلا Chlorella ـ نوعـان يختلفان حجمـا وشكلا . نشوء سبورات لاجنسية

ب ـ البـروتوكـوكس Protococcus ، يوضـح الشكل خليـة منفردة اثناء التكاثر الخضرى



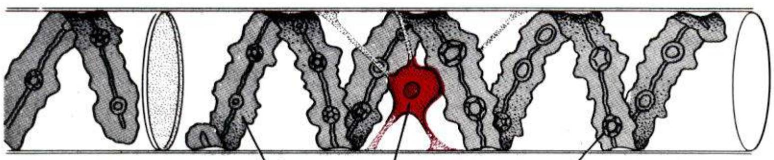
شكل (19ـ8) ديسميدات الطحـالب الخضراء Desmids of green algae

1ـ مايكرستيريس Micrasterias 2ـ كوسماريم Cosmariam 3ـ ستروراسترم Straurastrum 4ـ كلوستيريم Closterium 5ـ بلوروتينيوم Pleurotaenium

كبيرة مفصصة تملأ الخلية حتى جدارها . والانقسام الخلوى هـو الطريقـة الوحيـدة فقط المعروفـة من تكـاثـرهـا . ويمكن للانقسام الخلوى ان يتم فى أى من المستويات الثلاثـة . وربما تنفصـل الخلايـا الناتجـة عن الانقسام أو تبقى عـلى حـالهـا متصلة لوقت مافى مجاميع من اثنتين أو اربـع او ثمانى خـلايا حتى اكثر . ويعتبر البـروتوكـوكس عضوا مختـزلا reduced (أى تطور عكسيا) من عـائلة الانـواع الشريطية ، ومن هنـا لا يشكل اهمية مرموقة فى تطور النباتات الاكثر تخصصا .

الطحـالـب الخضراء الشريطيـة Filamentous Green Algae

ربمـا يحـدث الانقسـام الخلـوى فى اشكـال المستعمـرات الـلاشريطية فى اكثـر من مستوى . ومن نـاحية ثـانية تتكـون جـدران الخلية الجـديدة عـادة فى الطحالب الشريطيـة فقط فى مستوى يتعامد مع المحور الطولى لجسم النبات . ونتيجة لذلك يتكـون خيط أو شريط طـويـل filament ، يتـألف من خـلايـا اسطوانية . وربما تكون الطحالب الشريطية قد نشأت بالتطور



شكل (19ـ9) السبيروجيرا Spirogyra ، خلية واحدة من شريط وقطعة من خلية مجاورة .

عن السوطيات مباشرة ، حيث صاحب عملية فقد الحركية نشوء الانقسام اللا محدود للخلية بمستوى واحد .

الاسيتابولاريا *Acetabularia (Mermaid's Wineglass)*

تنتشر انواع هذا الجنس بكثرة فى المياه الضحلة للبحار الاستوائية وشبه الاستوائية . ويتألف النبات البالغ منها من خلية كبيرة واحدة . وتتمايز هذه الخلية الى قاعدة مفصصة شبيهة بالجذر rhizoid ، أو تكون على شكل نمو مستطيل يصل طوله الى ستة سنتيمترات وقرص يشبه الطبق يبلغ قطره سنتيمترا واحدا ويكون موقعه عند طرف العنق (لوحة رقم 9) . وتقع النواة الكبرى الوحيدة فى احد فصى الماسكة . ينمو النبات منتصبا ويتواجد فى تجمعات عادة . يمكن إنبات الاسيتبولاريا فى المختبر ، لذا اجريت عليه العديد من البحوث التجريبية وخصوصا فيما يتعلق بوظيفة النواة والعلاقة بينها وبين السيتوبلازم .

السبيروجيرا: *Spirogyra*

تبدأ دراسة الطحالب الشريطية للسهولة باختبار بعض الانواع الكبيرة منها والتى يسهل تمييزها ويكثر انتشارها مثل السبيروجيرا. وهذه النباتات التى تكون تجمعات ناصعة الاخضرار فوق سطح البرك والينابيع، والتى تسمى عادة بزبد (ريم) البركة pond scum لاتتفرع أشرطتها. تحتوى الخلية الواحدة على بلاستيدة خضراء كبيرة، وفى بعض الانواع على اكثر من واحدة، مطمورة فى السيتوبلازم بما يملأ الخلية حتى الجدار (شكل 19ـ9) والبلاستيدات (البلاستيدات الخضراء) هى عبارة عن أجسام شبه شريطية تلتف حلزونيا بمسافات غير متساوية من احد طرفى الخلية الى الطرف الآخر. اما مراكز تجميع النشاء فتحاط بحبيبات نشوية، وهى مطمورة فى البلاستيدات على مسافات منتظمة، مما يعتبر سمة بارزة للخلية. ويحيط بالسيتوبلازم فجوة مركزية كبرى، اما النواة فتحاط بغمد سيتوبلازمى، وموقعها وسط الخلية حيث توجد معلقة بروابط سيتوبلازمية تمتد عبر الفجوة منتهية عند الطبقة السيتوبلازمية المحيطية المبطنة لجدار الخلية.

يظهر أن التكاثر الخضرى فى السبيروجيرا بسيط حيث تتمكن أى خلية أو مجموعة خلايا من الاستمرار فى النمو مكونة شريطا. وبفعل التيارات المائية او تغذية الاسماك او غيرها من الحيوانات المائية الصغيرة يقع التجزؤ (التشظى) fragmentation، الذى يطلق العنان لامكانية تكون نباتات جديدة. وتحدث هذه العملية بتشجيع من التحلل الموسمى للمادة الرابطة بين الخلايا الذى يتسبب فى تكسر الاشرطة وتعيش كسور أشرطة السبيروجيرا طول فترة الشتاء بحالة خاملة ومن ثم تستأنف نموها مع بداية الربيع.

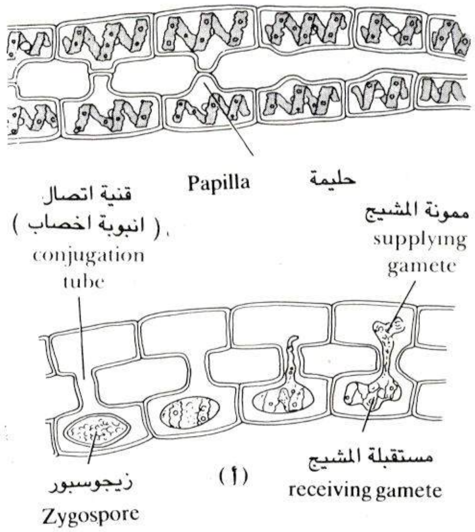
يشتمل التكاثر الجنسي (شكل 19ـ10) على اندماج مشيجين غير متحركين، ينتجان من شريطين مختلفين فى العادة. ويتكون من هذا الاتحاد شكل بيضوى الشكل ovoid أو زيجوسبور zygospore عندما يتجاور خيطان بجانب بعضهما البعض يلتصقان بسبب وجود المادة الصمغية التى تعمل على التصاقهما. وسرعان ماتبدأ فى النمو حليمات papillae تشبه البراعم من كل من الخليتين الخضريتين المتقابلتين فى الشريطين ويتم التماس بين الحليمتين المتقابلتين منذ بداية نموهما، اما الشريطان فيدفعان للتباعد مع متابعة النمو. وينتهى الامر بان يتحلل الجدار الفاصل بين الحليمتين مما يكون أنبوبة التحام (قنينة اتصال) مفتوحة conjugation tube، بين الخليتين. وينتقل كل المحتوى الى احدى الخليتين (موردة المشيج Supplying

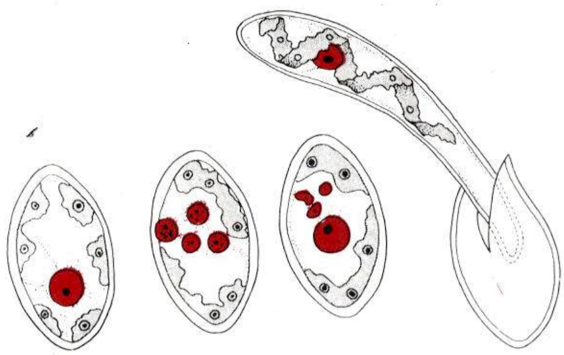
وممايسهل عملية الاتصال هذه حدوث انكماش فى المشيجين، ممايتيح لبروتوبلاست الخليتين الاندماج معا، ويمكنهما من احتلال الحيز الذى كان ممتلئا فى السابق بمشيج واحد فقط. ويحدث هذا الانكماش بفعل فقدان السيتوبلازم للماء، واساسا من فجواته.

والمعتاد ان ينتج الشريط الواحد نوعا واحدا من الامشاج اما الموردة او المستقبلة. ومن هنا ومع نهاية فترة الاتصال، لايبقى من محتويات احد الاشرطة غير جدران الخلايا، بينما تصبح خلايا الشريط القرين حاوية على الزيجو سبورات. ونظرا لان التمايز المشيجى ضئيل للغاية لذلك يصنف التكاثر الجنسى على أنه متماثل الامشاج isogamous. بعد أن يتم الاندماج، يمكن تمييز كل من البلاستيدات الخضراء ومراكز تجميع النشاء فى الامشاج داخل الزيجوسبور الفتى الذى سرعان مايكون جدارا سميكا معتما ومن ثم يدخل الزيجو سبور طور السبات. بعد تحلل جدران الخلية الام يغوص الزيجوسبور الى القاع. ومع بداية فصل النمو التالى يبدأ فى الانبات مكونا شريطا جديدا (شكل 19ـ10ب). ويحدث الانقسام الاختزالى فى بعض الانواع اثناء بلوغ الزيجوسبور، بينما يتأخر فى انواع اخرى حتى قبيل بداية الانبات مباشرة، اذا ماحدث الانقسام الاختزالى، تتحلل ثلاث من الاربع نويات احادية المجموعة الكروموسومية haploid تاركة وراءها الرابعة العاملة. عند الانبات تصبح هذه النواة أحادية المجموعة الكروموسومية نواة الخلية الاولى المتكونة فى الشريط الجديد.

اليولوثريكس *Ulothrix*

يكون شريط اليولوثريكس غير متفرع ايضا. ويتألف من صف من خلايا اسطوانية صغيرة مترابطة عند أطرافها (شكل 19ـ11أ) كثيرا ما تتحور الخلية القاعدية للشريط الى ماسكة. يعثر على نباتات اليولوثريكس متعلقة بالصخور وغيرها من الاجسام فى مجارى المياه والبحيرات، غير أنها تعيش ايضا مثل السبيروجيرا، على هيئة كتل حرة طافية على سطح الماء. تحتوى كل خلية على بلاستيدة خضراء واحدة تشبه الحزام الدقيق. وتكون هذه البلاستيدة مفتوحة الطرفين. وربما تتخذ البلاستيدة الخضراء شكل اسطوانة





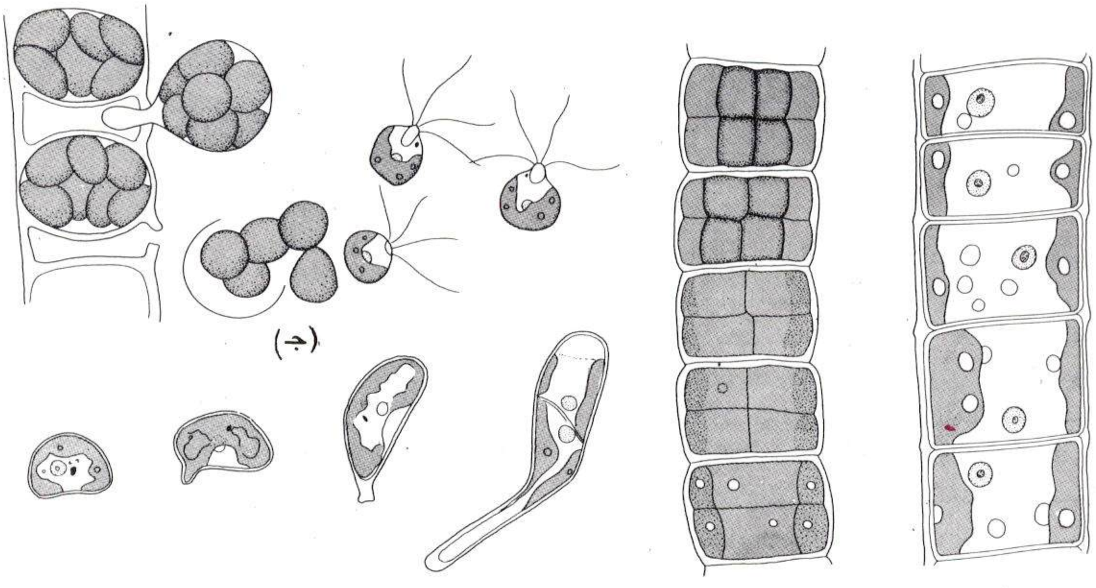
(ب)

شكل (19ـ10) الانقسام الجنسى فى السبيروجيرا

أ ـ مراحل تكوين الزيجوسبور Zygospore

ب ـ مراحل انبات الزيجوسبور. تنقسم الخلية مرتين، يحدث اثناء ذلك الانقسام الاختزالى، لاتواصل الحياة الا نواة واحدة من الاربع.

gamete) من خلال انبوبة الالتحام كى يندمج فى بروتوبلاست الخلية الاخرى (مستقبلة المشيج receiving gamete).

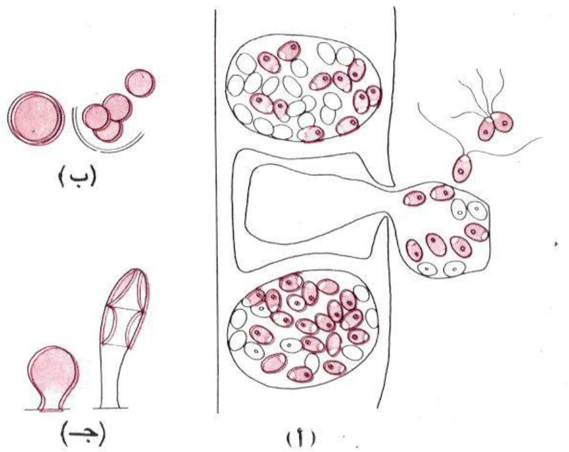


شكل (19ـ11) اليولوثركس ulothrix أ ـ خلايا خضرية من شريط ب ـ تكوين السبورات اللاجنسية
جـ ـ تحرر السبورات اللاجنسية د ـ انبات السبورات اللاجنسيه .

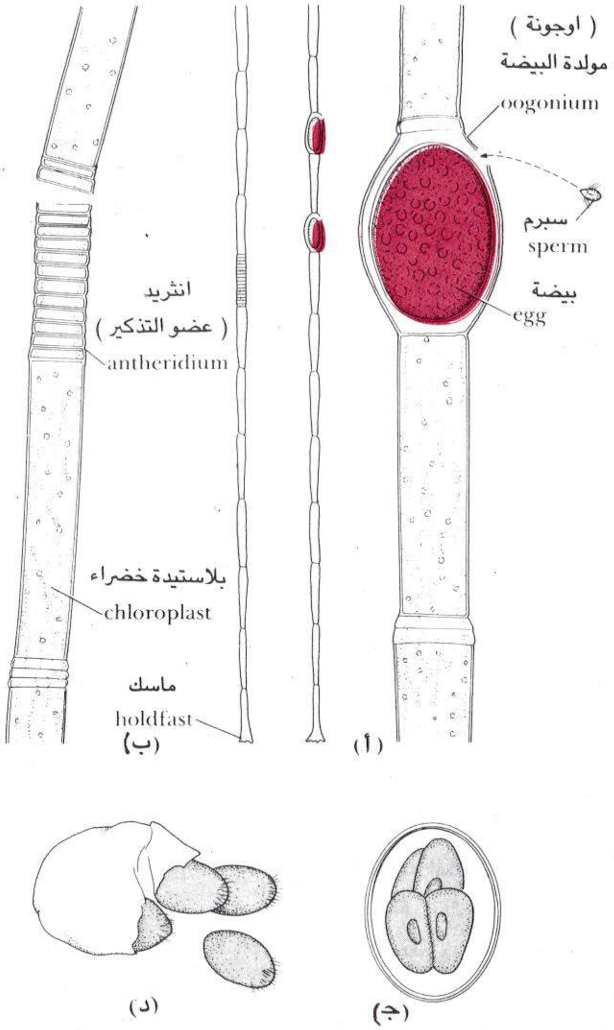
مكتملة او ربما تمتد محيطة جزئيا بمحيط الخلية. وتحوى مركزا واحدا او اكثر من مراكز تجميع النشاء.

يحدث التكاثر اللاجنسى فى اليولوثـريكس (شكل 19ـ11ب،د) بواسطة التكسر (التجزؤ) وعن طريق انتاج السبورات اللاجنسية zeospores. ربما تفرز اى خلية من خلايا الشريط تلك السبورات اللاجنسية فيما عدا الماسكة. تنشأ السبورات اللاجنسية بانقسام البروتوبلاست كله فى الخلية الواحدة الى وحدات أصغر، تكون اعدادها الشائعة من 4 ـ 8. تفتقر السبورات اللاجنسية، الى وجود جدار خلية محدد، غير ان الواحد منها يمتلك بلاستيدة خضراء واحدة وبقعة تشبه العين، واربعة اسواط. عندما تصل السبورات اللاجنسية الى درجة البلوغ، تتحرر من خلال ثغرة توجد فى جانب جدار الخلية، وتحتجز عادة ولفترة قصيرة داخل امتداد رفيع يشبه الكيس للخلية الام، وسرعان مايختفى هذا الكيس وتتحرر السبورات اللاجنسية سابحة بنشاط لعدة ساعات. واخيرا تستقر السبورات اللاجنسية وتكون ماسكات، وتكون أشرطة جديدة بواسطة عملية انقسام الخلية.

ان تكوين عدد كبير (8ـ64) من الامشاج المتحركة الصغيرة فى الخلية الواحدة، يطلق اشارة بدء التكاثر الجنسى (شكل 19ـ12) وتتشابه هذه الامشاج تشابها كبيرا مع السبورات اللاجنسية، الا انها تمتلك سوطين بدلا من اربعة، بعد ان تفلت ازواج الامشاج من شريطها سرعان ماتندمج لتكون زيجوسبور. يكون منشأ الامشاج المندمجة من اشرطة مختلفة، غير انها تتشابه شكلا وحجما، وبهذا يكون التكاثر الجنسى فى اليولوثريكس متماثل الامشاج. وبعد فترة من الراحة تبدأ الزيجوسبورات فى الانبات، وتنقسم النواة بالانقسام الاختزالى، وتنشأ سبورات متحركة او غير متحركة (السبورات الاختزالية meiospores) ويكون عددها أربعة فى



شكل (19_12) اليولوتركس ulothrix ، تكاثرها الجنسى
أ ـ تكوين الامشاج واندماجها
ب ـ انبات الزيجوسبور
جـ ـ انبات السبورات



شكل (19_13) الاويدويجونيوم Oedogonium ، تكاثرها الجنسى :

أ ـ نبات انثوى ، قطعة منه مكبرة كثيرا توضح مولدة البيضة (اوجونه) oogonium اثناء الاخصاب .

ب ـ نبات ذكرى ، مكبرة قطعة منه كثيرا ، توضح اعضاء التذكير (انثريد) antheridia والسبرم الهارب .

جـ ـ الزيجوت ، انقسامه الى اربعة من سبورات الانقسام الاختزالى meiospores .

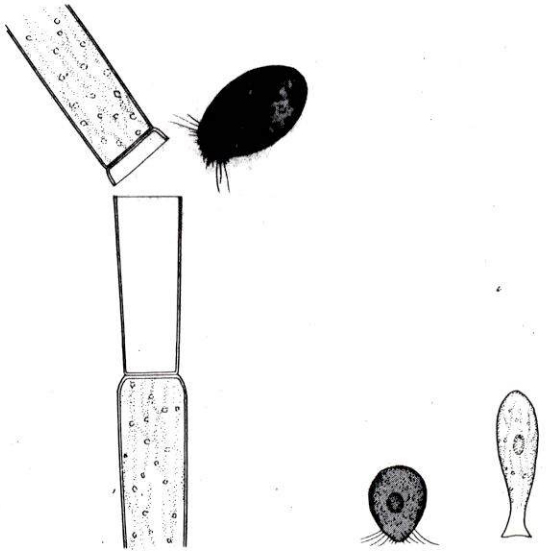
د ـ هروب سبورات الانقسام الاختزالى من الزيجوت .

العادة، وينمو كل واحد منها مكونا شريطا جديدا.

ربما يمكن اعتبار السبورات اللاجنسية شبه السوطية فى نبات اليولوثريكس مثالا على الاحتفاظ بصفة من صفات الاسلاف. ومن هنا ربما تمثل السبورات اللاجنسية لليولوثريكس مرحلة كانت فيها النباتات أحادية الخلية وشبيهة بالسوطيات التى تعيش الان.

اوديجونيو *Oedogonium*

يعتبر الاوديجونيوم، من الطحالب الواسعة الانتشار، وتنمو على هيئة شريط غير متفرع يتعلق فى الاشياء بماسكاته عندما يكون فتيا(شكل 19_13أ) ولكن عند بلوغه يطفو على هيئة كتل خضراء. تكون البلاستيدة الخضراء الوحيدة اسطوانية الشكل جدارها شبه شبكى، تحتوى على العديد من مراكز تجميع النشاء (شكل 19_13ب). تتكاثر هذه النباتات لاجنسيا، وذلك بواسطة التكسر (التجزؤ) وبواسطة



شكل (19-14) الاوديجونيوم Oedogonium ، تكاثرها لاجنسيا
(على اليسار) هروب السبور اللاجنسى من خلية الشريط .
(على اليمين) انبات السبور اللاجنسى .

تكوين السبورات اللاجنسية الخضراء الكبيرة، سواء الكروية منها أم البيضوية (شكل 19-14). تنتج هذه السبورات اللاجنسية انفراديا فى الخلايا الخضرية، وتحمل أسواطا عديدة تترتب حلقيا (دائريا) عند أحد الاطراف. عندما تنضج السبورات اللاجنسية تتحطم الخلية التى تشكل فيها، عند طرفها العاوى وينطلق السبور اللاجنسى سابحا لمدة ساعة تقريبا يستقر بعدها، وينشىء لنفسه ماسكة وشريطا جديدين.

يتصف التكاثر الجنسى فى نبات الاوديجونيوم (شكل: 19-13هـ) ببعض التعقيد، غير أن سماته الاساسية تعطى صورة مماثلة للخطوط العاملة للعملية. حيث إن الامشاج تنقسم الى بيضات كبيرة وسبرمات صغيرة، لذا تعتبر هذه العملية تكاثرا جنسيا غير متماثل الامشاج. تنتج البيضات انفراديا داخل خلايا تخصصية متضخمة. يعرف شريطها بالاوجونات oogonia، وتسمى ايضا مولدات البيض - وهى عضو التأنيث فى بعض النباتات الثالوسية). يصطلح على الخلايا التخصصية الحاوية على السبرمات بالانثريدات antheridia (عضو التذكير) تتواجد هذه الخلايا القصيرة والتى تشبه الأقراص اما منفردة او فى صف يحوى من اثنتين الى أربعين وحدة او اكثر، تصطف على طول الشريط. يحوى كل أنثريد antheridium على سبرمين راقدين جنبا الى جنب. وباستثناء الحجم تعتبر هذه الخلايا شديدة الشبه بالسبورات اللاجنسية (الزوسبورات) وفى بعض الانواع تنشأ الاوجونات والانثريدات فى نفس الشريط الواحد، وفى انواع اخرى يتجمع كل صنف منها فى شريط منفصل.

تنطلق السبرمات من الانثريدات وتسبح بحرية، ثم يخترق سبرم واحد الاوجونة oogonium عبر فتحة دقيقة او ثقب صغير موجود فى جدار الاخيرة، ومن ثم يندمج مع البيضة. تكون البيضة المخصبة جدارا سميكا حول نفسها ومع تحلل الشريط تتحرر البيضة المخصبة oospore (الزيجوت) ومن ثم تتابع دورتها بالدخول فى فترة سبات، ربما تستمر لعدة شهور. بعد خروج الزيجوت من سباته يبدأ الإنبات، إذ تتعرض النواة للانقسام الاختزالى ومن ثم ينشأ فيها أربعة سبورات لاجنسية (سبورات الانقسام الاختزالى meiospores)، يكون كل منها قادرا على النمو وتكوين خيط.

الجنس والتمايز الجنسى: Sex and Sex Differentiation

يعتبر التكاثر الجنسى واحدا من أبرز سمات نباتات الارض. ومما لاشك فيه ان هذا المجال النباتى يتخذ اهمية عظمى للانسان من وجهة نظر تكوين الثمار والبذور التى يعتمد عليها الانسان كثيرا فى غذائه، ويتم هذا فقط بفعل عملية التكاثر الجنسى. ومن هنا يكون من الاهمية بمكان محاولة التعرف على المراحل التى مرت بها العملية، مما أدى الى حدوث الطرائق عالية التخصص فى عمليات التكاثر الجنسى، تلك التى تميز الان النباتات الراقية.

ربما نبحث بين الطحالب عن اشكال تمثل المراحل التى عبرتها النباتات اثناءمسيرتها التطورية كى تصل الى طرائق اكثر تقدما فى عملية التكاثر الجنسى. يهمنا الان ان نشير الى ان لكل من اليولوثريكس والاوديجونيوم مغزى كثيرا.

فاليولوثريكس يمثل اكثر طرائق التكاثر الجنسي بدائية. ففي هذه الطريقة تنطلق الامشاج المتشابهة في المظهر الخارجي، والتي لها المقدرة على الحركة، من خلايا غير متمايزة حيث نشأ، ومن ثم تندمج في الماء. ومن جهة اخرى تجسد نباتات الاوديجونيوم تطور التمايز الجنسي (غير متماثل الامشاج) في انتاج امشاج غير متشابهة - بيضة كبيرة غير متحركة، وسبرم متحرك أصغر حجما، وبجانب هذا يحتوى النبات على اعضاء جنسية - الاوجونة والانتريد - التي تتمايز من خلايا جسم النبات الخضرية، الاتحاد المشيجي gametic union لايتم في الماء بعد اخلاء سبيل المشيجين، اذ يحتفظ النبات الام ببيضته غير المتحركة، بينما ينطلق السبرم سابحا اليها، اذا ماقدر للاخصاب ان يحدث، لايجوز للمرء ان يفترض ان كلا من اليولوثريكس والاوديجونيوم Ulothrix and Oedogonium يعتبران نفسهما اسلافا للنباتات الراقية ولكنهما يمتلكان سمات تميز دوراتهما الحياتية، ربما تمثل مراحل تطورية مرت بها نباتاتنا المألوفة.

وتعتبر ظاهرة عدم تماثل الامشاج سمة ثابتة تميز النباتات الراقية - النباتات الزهرية والخروطيات وغيرها. كما وان اكثر نباتات الارض الحية بدائية، سواء الوعائية او غير الوعائية، تعتبر غير متماثلة الامشاج ايضا. ومع ذلك ربما كانت نباتات الارض الاقدم متماثلة الامشاج في الاساس وربما يكون. وقوع عدم تماثل الامشاج في الاوديجونيوم مجرد مؤثر على قدرات التمايز الجنسي الموروثة في الطحالب الخضراء.

تبادل الاجيال Alternation of Generations

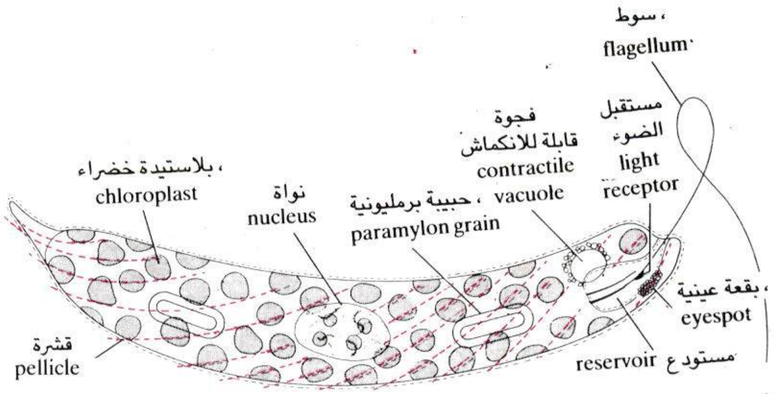
من خلال دراستنا للطحالب يمكن تعقب اصل التكاثر الجنسي بل وايضا مبدأ تبادل الاجيال، وهو شديد الارتباط بالعملية الجنسية، فاذا مااعتبرنا دورة حياة نبات زهري وجدنا ان الطور السائد والاكثر بروزا - ونعنى به النبات نفسه - يعود الى الطور السبوري Sporophyte او الجيل ثنائي المجموعة الكروموسومية. وهذا ينطبق بالتأكيد على كل النباتات الوعائية الاخرى. اما جيل الطور المشيجي gametophyte generation (وهو جيل احادي المجموعة الكروموسومية) الذي يعقبه فيمثل طورا مختزلا في دورة حياة النبات.

لايكون جسم النبات طور ثنائي المجموعة الكروموسومية دائما. فهناك اختلاف معتبر يظهر في الطحالب من وجهة نظر طبيعة هذين الجيلين. فجسم النبات في غالبية المستعمرات الشريطية وغير الشريطية للطحالب الخضراء يعود، او يرجع الى الجيل ثنائي المجموعة الكروموسومية او جيل الطور المشيجي، اذ يكون النبات امشاج الطور المشيجي، الاحادي المجموعة الكروموسومية التي تندرج بدورها مكونة زيجوت، ويكون الزيجوت جيل الطور السبوري sporophyte generation، حيث يحدث الانقسام الاختزالي اثناء انبات الزيجوت وعلى سبيل المثال تعتبر البيضة المخصبة fertilized egg، في نبات الاوديجونيون هي الخلية الوحيدة التي تكون ثنائية المجموعة الكروموسومية، وماعدا ذلك من تراكيب النبات بما فيها الشريط والسبورات اللاجنسية والامشاج وسبورات الانقسام الاختزالي، تعود الى جيل الطور المشيجي.

تنشأ من نواة الزيجوسبور في نبات السبيروجيرا اربع نويات اثناء فترة الانبات يحوى كل منها عدد n (احادي المجموعة الكروموسومية) من الكروموسومات. تجهض ثلاث من هذه النويات، بينما تصبح الرابعة نواة الخلية الاولى في الشريط الجديد (شكل 19 - 10 ب) لايمكن لاصل جسم النبات الراقي ثنائي المجموعة الكروموسومية ان يدخل في انواع كالتي يعود فيها جسم النبات الى جيل الطور المشيجي.

من بين الانماط الاخرى لدورات الحياة الموجودة في الطحالب، دورة يكون فيها الجيل ثنائي المجموعة الكروموسومية طورا بارزا في دورة الحياة، بينما يكون الجيل احادي المجموعة الكروموسومية صغيرا، وربما مختزلا كثيرا، ان هذه الدورة تقترب كثيرا مما يحدث في النباتات البذرية، وتوجد اساسا في الطحالب البنية. هناك نمط ثالث يتلخص في كون الجيلين متمتعين باستقلالية تامة ومتشابهين كثيرا في الحجم. وتوجد دورة الحياة هذه في بعض انواع الطحالب الخضراء. (كخس البحر على سبيل المثال)، وبعض الانواع البنية واغلبية الطحالب الحمراء. غير ان الطحالب الحمراء والبنية لايعتقد انها منشأ اى شكل من الاشكال الراقية لحياة النبات، بل انها اصبحت عالية التخصص في البحر.

يقتصر البحث على اشكال توضح المراحل التطورية التي عبرتها النباتات في الفترة التي سبقت هجرتها الى الارض واستقرارها فيها، يقتصر عموما على الطحالب الخضراء حيث ان غالبية الطحالب الخضراء التي تعيش الآن قد واصلت حياتها في بيئات مائية، ويبدو واضحا انها لم تكن اسلافا مباشرة لنباتات الارض القديمة. اما الاشكال القديمة



شكل (19_15)

اليوجلينا Euglena ، رسم تخطيطى يوضح سماتها التركيبية .

الاخرى فقد تأقلمت مع نمط الحياة الارضية، وكونت اجساما نباتية بحجم كبير ودرجة اكبر من التعقيد التركيبى، ربما يكون اسلاف النباتات الوعائية التى تعيش الآن قد نشأت من بين الطحالب الخضراء متماثلة الامشاج، والتى قد تشابه فيها الجيلان. ان جيل الطور السبورى قد كان منشأ جسم النبات الحديث حيث تم ذلك خلال العمليات التطورية . ومن ناحية اخرى يصبح جيل الطور المشيجى تدريجيا جزءا غير بارز من دورة الحياة. سوف نتعرض بتفصيل اكبر فى الفصل الخامس والعشرين لمناقشة تطور النباتات الوعائية الاولى.

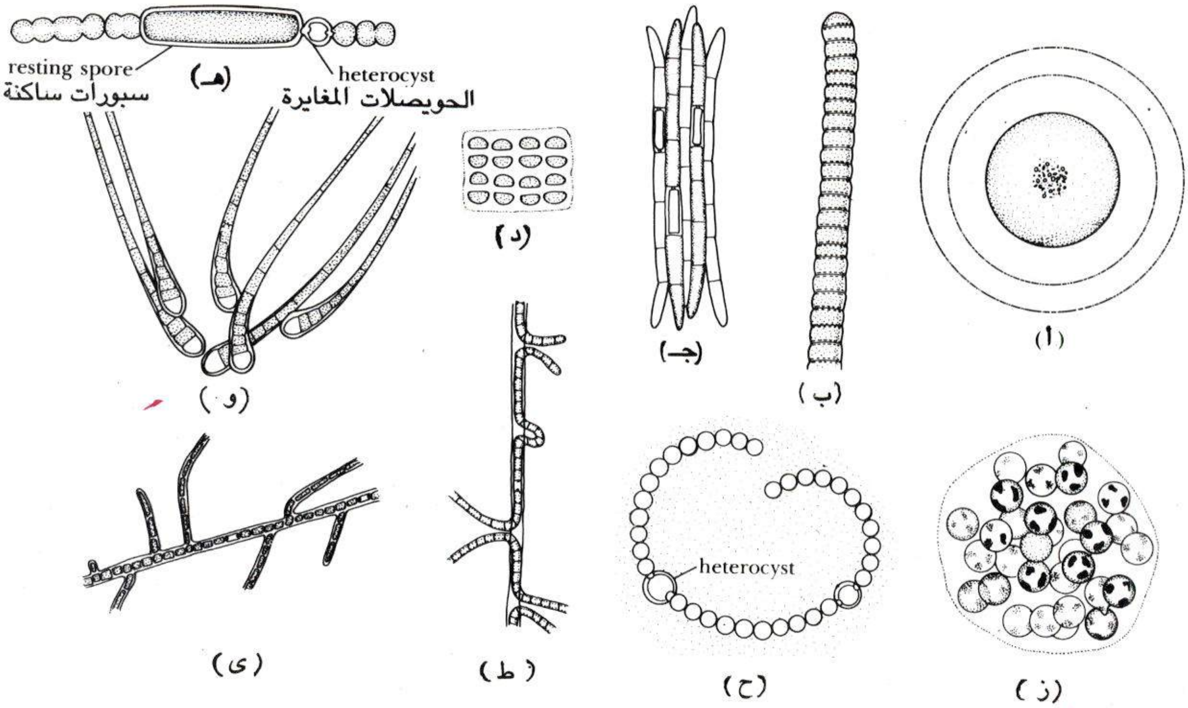
القسم الثانى - اليوجلينيات: Division 2 Euglenoids

تحوى اليوجلينيات، مثلها فى ذلك مثل السوطيات، عموما كلا من الاشكال الخضراء وعديمة اللون، وبعض الانواع الاخيرة تحصل على غذائها على هيئة محلول، بينما يزدرد البعض الآخر غذاءه بصورة جسيمات صلبة لايعرف من بين يوجلينيات البناء الضوئى photosynthetic Euglenoids مايتغذى على الاجسام الصلبة phagotrophic.ان فيتامينات B 12 والثيامين مطلوبة لنمو العديد من اليوجلينيات.

لقد درست بتعمق اكبر بعض الكائنات الحية من الانواع المتعددة لجنس اليوجلينا (عدد افراد الجنس حوالى 50) تعتبر هذه الكائنات كبيرة الحجم نسبيا، وتؤخذ للفحص بعد تنميتها فى مزارع غذائية خالية من البكتريا، ومناسبة كثيرا للفحوص المختبرية لدراسة مختلف عمليات التحول الغذائى واليوجلينا جنس يعيش فى المياه العذبة النقية اساسا، وغالبا مايحدث ازدهار اليوجلينا فى الوسط الحامضى او فى المياه الغنية بالنيتروجين مكونة زبد اخضر green scum، اغلب انواعها مغزلية الشكل spindle – shaped تقريبا، ويكون احد طرفى المغزل مستديرا والاخر مدببا (شكل 19 ـ 15) وتكاثرها خضرى، تنقسم فيه الخلايا طوليا، لم يستدل على حدوث تكاثر جنسى.

لايوجد جدار خلوى حقيقى، ويفصل البروتوبلاست عن البيئة المحيطة بواسطة قشرة رقيقة pellicle وتتألف الاخيرة من قسمين، الخارجى منهما غشاء بلازمى رقيق، داخله نظام قشرى من الشرائح المستطيلة المرتبة حلزونيا. يتراوح عدد هذه الشرائح بين 30 ـ 40 شريحة يتوزع اغلبها وسط الخلية والباقى عند طرفيها. وتكون هذه الشرائح مرنة يسهل ثنيها وتتألف اساسا من البروتين. تتشابك هذه الشرائح بحواف عرضية تدخل فى اخاديد دقيقة مكونة بذلك وحدة واحدة تتمتع بقابلية تغيير الشكل استجابة لمتغيرات القوى الداخلية، ان التركيب الحلزونى الذى يمكن ملاحظته بمجهر التباين الطورى phase contrast microscope، ماهو الا خطوط التراكب بين الشرائح المتجاورة.

تحوى عضيات الخلية cell organelles نواة كبيرة نسبيا وبلاستيدات خضراء وفجوة تستطيع الانكماش، ومخزونا من منتجات عديدة السكريات pollysaccharide، تسمى البراميلون paramlon، ربما يصاحبها وجود مراكز لتجميع النشأ، ويكون موقعها اما البلاستيدات الخضراء. وقد تكون حرة فى السيتوبلازم بصورة حلقات او قضبان صلبة . تختلف البلاستيدات الخضراء فى العدد والشكل، حسب اختلاف الانواع، فقد تكون على هيئة اقراص او شرائط، وقد تكون باشكال اخرى . توجد عند الطرف المستدير للخلية فتحة تتصل عبر قنية بحيز متسع يعرف بالمستودع reservoir تتخذ الفجوة القابلة للانكماش contractile



شكل (19ـ16) الطحالب الخضراء المزرقة . أ ـ الكروكوس Chroococcus ب ـ اوسيلاتوريا (المتذبذبة) Oscillatoria
جـ ـ افانيزومينون Aphanizomenon د ـ ميريسموبيديا Merismopedia هـ ـ انابانيا Anabaena
و ـ ريفيولاريا Rivularia ز ـ الحويصلة Microcysts ح ـ النوستوك Nostoc ط ـ سكيتونيما Scytonema
ى ـ هابالوسيفون Hapalosiphon

vacuole، احد جوانب المستودع مقرا، والفجوة تعتبر عضية تهتم بالعلاقات المائية للخلية، وتصب الفجوة فى المستودع، فى بعض انواع اليوجلينيات يوجد سوطان يتصلان بالجدار الخلفى للمستودع، ويخرجان من قنيته، وفى انواع اخرى من بينها اليوجلينا Euglena يظهر واضحا سوط واحد خارج الخلية، بينما الثانى اثريا قصيرا غير فعال، ويبقى داخل المستودع يوجد انتفاخ بالقرب من السوط العامل ويحتمل ان يكون هو مستقبل الضوء light receptor، يتحسس وجود الضوء وشدته، وفى الجهة المقابلة لمستقبل الضوء وفى جدار المستودع توجد بقعة العينية eye spot ولونها احمر برتقالى . ويعتقد ان وظيفتها كشاشة ماصة للضوء يستظل بها مستقبل الضوء على فترات متقطعة كلما استدارت الخلية اثناء السباحة . تتحرك اليوجلينا باتجاه منطقة متوسطة الاستضاءة مبتعدة عن مناطق الضوء الشديد،

القسم الثالث ـ الطحالب الخضراء المزرقة
Division 3 The Blue – Green Algae

يميز انواع هذه المجموعة عادة والتى يقرب عددها من 1500 نوع، لونها الاخضر المزرق بسبب صبغة اضافية بجانب صبغات الكلورفيلات والكاروتينيات، ربما توجد ايضا صبغة حمراء، وبسبب تباين تراكيز هذه الصبغات ظهور بون معتبر من الالوان فى نباتات هذه الرتبة، لقد اكتسب البحر الاحمر اسمه من وفرة نوع من الطحالب الخضراء المزرقة فى مياهه والتى فيها الصبغة الحمراء هى السائدة.

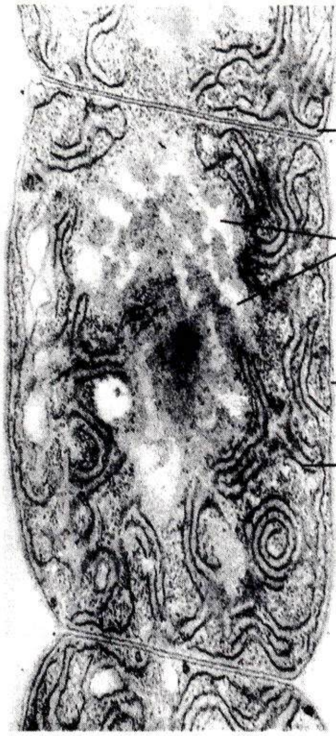
لاتتمتع الطحالب الخضراء المزرقة الا بتمايز قليل فى تركيبها، توجد منها اشكال وحيدة الخلية، الا ان غالبية الطحالب الخضراء المزرقة تكون على هيئة مستعمرات

لاشريطية ـ non filam entous او تنمو فى شرائط متفرعة او غير متفرعة (شكل 19 ـ 16) يحيط بكل من الخلايا والمستعمرات اللاشريطية غمد جيلاتينى ربما يكون ظاهراً . التكاثر الجنسى فى الطحالب الخضراء المزرقة غير معروف، الا ان بعض التجارب تشير الى احتمال حدوث بعض الاتحادات التى قد تعقب اندماج الشرائط الخضرية، ان وجود آليات اعادة الترتيب recombination فى غياب التكاثر الجنسى قد وضح بجلاء فى البكتريا (فصل ـ 20)، هذا وينتفى انتاج السبورات المتحركة، فالطريقة الوحيدة المعروفة هنا للتكاثر هى الطريقة الخضرية، التى تتم اساسا بانقسام الخلايات فى الاشكال احادية الخلية، وكذلك بانقسام الخلية او التكسر فى حالة المستعمرات . ربما تنتج بعض الشرائط سبورات ساكنة resting spores ايضا، والاخيرة هى عبارة عن سبورات سميكة الجدران مقاومة للحرارة والجفاف تحوى مواد غذائية مخزونة، تنمو خلية جديدة من السبور الساكن اثناء الانبات. كما تنتج بعض الشرائط ايضا خلايا متضخمة تبدو فارغة وتعرف بالحويصلات المغايرة heterocysts، والتى لم تتضح وظيفتها بجلاء بعد.

ليس للطحالب الخضراء المزرقة اعضاء للحركة، ولكن بعضها يقدر على التزلج على السطوح بالانزلاق، الا ان آلية هذه الحركة غير معروفة.

يختلف التنظيم الخلوى فى الطحالب الخضراء المزرقة عن نظيره فى النباتات الراقية من وجهات نظر عدة (شكل 19 ـ 17)، فى حين يشبه كثيرا التنظيم الموجود فى البكتريا (فصل 20)، يقع الانقسام الخلوى على امتداد شبه حلقى لجدار الخلية وفى صورة غشاء ذى فتحة تقل تدريجيا، ولاتتكون صفيحة خلوية، اما مادة الـ DNA فتكون مركزة فى شبكة بابعاد ثلاثة تمتد كى تشمل كل الخلية او تتمركز فى وسطها. هذه الشبكة التى لنا ان نسميها بالجسم النووى، تعتبر المكافىء الوراثى genetic equivalent لنواة الكائنات الراقية. غير ان الشبكة تختلف شكلا من خلية الى اخرى، ولايحيطها غشاء نووى ولاتحوى العدد الكروموسومى mitotic figure. وكما هى الحال فى النباتات الراقية، يقتصر وجود الكلوروفيل على صفائحه. غير ان هذه لاتتحد مكونة الجرانا grana، تكون صفائح البناء الضوئى شبكة معقدة تمتد احيانا لتشتمل سيتوبلازم الخلية، ولكنها عادة تترتب فى طبقات متوازية فى محيط الخلية .. تتوفر كثير الريبوسومات ribosomes، ولكن لاتوجد الميتكوندريا ولا الشبكة الاندوبلازمية.

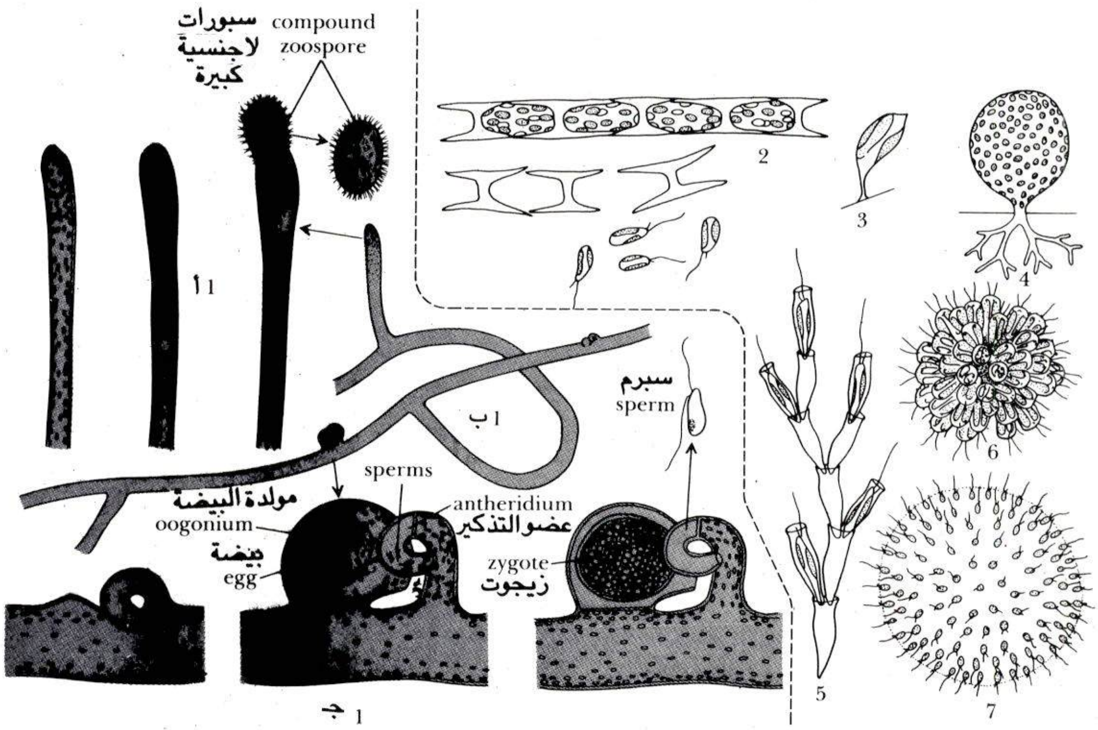
من المعروف عموما ان خلايا الطحالب الخضراء المزرقة والبكتريا، مع افتقارها للغشاء النووى وغياب الانقسام



شكل (19 ـ 17) صورة بالمجهر الالكترونى لخلية واحدة للتوليبوتركس Tolypothrix من الطحالب الخضراء المزرقة الشريطية ، توضح التركيب الخلوى .

الفتيلى mitosis وافتقارهما سواء للميتوكوندريا او البلاستيدات المحددة باغشية (علما بان بعض البكتريا يتمتع بالمقدرة على البناء الضوئى) يختلفان كل الاختلاف عن غيرهما من الكائنات الحية بحيث يمكن اعتبار انه يوجد نوعان من خلايا الكائنات الحية، ومن هنا تسمى الخلايا البدائية للطحالب الخضراء المزرقة والبكتريا باسم البروكاريوتية procaryotic. اما خلايا انواع الطحالب الاخرى والفطريات وغيرها من الكائنات الحية فتسمى باليوكاريوتيه eucaryotic، يشار الى كل من البكتريا والطحالب الخضراء المزرقة بانها من البروتستا protista الدنيا، اما الطحالب الاخرى والفطريات اللزجة slime molds، والبروتوزوا (شعبة الحيوانات وحيدة الخلية) فتلقب كلها بالروتستا العليا.

ان الطحالب الخضراء المزرقة واسعة الانتشار فى بيئات متنوعة، فالكثير منها مائى وبعضها يعيش فى الترب الرطبة



شكل (19 ـ 18) الكريسـوفيتـا (من 1 ـ 4 ـ) : الطحـالب الخضراء المصفرة (من 1 1 ـ1 جـ) : الفوشيريا Vaucheria .
(أ) : مراحل تكـوين السبورات الـلاجنسية والسبـورات اللاجنسية البالغة (ب) : الشكل العام للنبات (جـ) مراحل التكـاثر الجنسى

2 . التريبونيما Tribonema ، خلايا خضرية وتكوين السبورات اللاجنسية 3 . كـاراكيـوبسس Characiopsis
4 . بوتريديوم Botrydium ، وهى نامية على التربة . (من 5 ـ 7) الطحالب البنية الذهبية .
5 . دينوبريون Dinobryon
6 . سينورا Synura
7 . اوروغلينوبسس Uroglenopsis كثيرا ما تصيب الأنواع الثلاثة الأخيرة الموارد المائية بالتلوث .

وفوق الصخور المبتلة، وقد توجد متعلقة بالنباتات او الحيوانات ويغلب ان تكثر فى البرك الدافئة والغنية بالمواد العضوية، اذ تتطلب الطحالب الخضراء المزرقة كميات هائلة من النتروجين . يترعرع عدد كبير من انواعها فى المياه الملوثة وبذا تتخذ فى العادة مؤشرا على التلوث العضوى، كما تعيش الطحالب الخضراء المزرقة ايضا فى الينابيع الساخنة المنتشرة فى العديد من بقاع الارض، ولقد وجد ان الطحالب الخضراء المزرقة هى والبكتريا المرافقة تقدر على النمو فى بيئات تصل درجة حرارتها الى 73 درجة مئوية بحد اقصى.وهذا هو الحد الاقصى التقريبى الذى يمكن للحياة ان تستمر فيه بحالة فعالة ، اى انها ليست فى حالة سبات او نمو .

القسم الرابع ـ الكريسوفايتا : Divison 4 . Chrysophyta

تقسم نباتات هذا القسم عادة الى ثلاث رتب ، الخضراء المصفرة ، البنية الذهبية ، والدياتومات diatoms ، وسوف ندرس الاخيرة على حدة وبشرح اوفر .

للطحالب الخضراء المصفرة بلاستيدات خضراء مصفرة اكتسبت لونها من وفرة كاروتين ـ بيتا ويوضح الشكل (19ـ18) بعض الشواهد على تراكيب هذه المجموعة . اوضح هذه المجموعة هى طحالب الفوشيريا Vaucheria ،

(وكانت تصنف فى السابق مع الطحالب الخضراء)، كثيرا ماتجرى عليها الدراسات . وربما تكون انواعها العديدة اما مائية او ارضية . وربما تنمو هذه الانواع فى كتل كثيفة كاللباد على اطراف البرك او الجوانب الرطبة للينابيع ، وقد توجد على هيئة رقائق تغطى تربة الحدائق واصص الزهور فى البيوت الزجاجية .

وتتكون نباتاتها من خيوط او شرائط انبوبية متفرعة احيانا . وربما تتصل الانواع الارضية منها بفروع شبه جذرية عديمة اللون تسمى اشباه الجذور . يحتوى الشريط على عدد من الانوية لكنها لا تفصلها جدران مستعرضة ، اللهم الا عند وجود جسيمات التكاثر . ويسمى هذا الجسم ، عدد الانوية ، بالمدمج الخلوى Coenocyte . لاتقتصر حالة المدمج الخلوى على الفوشيريا وحدها اذ يوجد فى غيرها من الطحالب والفطريات ، بل وحتى فى انسجة النباتات الراقية ، يوجد السيتوبلازم داخل الجدار الخلوى مباشرة محيطا بفجوة مركزية كبرى متصلة . يوجد فى السيتوبلازم انوية والعديد من البلاستيدات قرصية الشكل تخلو من مراكز تجميع النشاء ، كما يوجد ايضا العديد من النقط الصغيرة الزيتية .

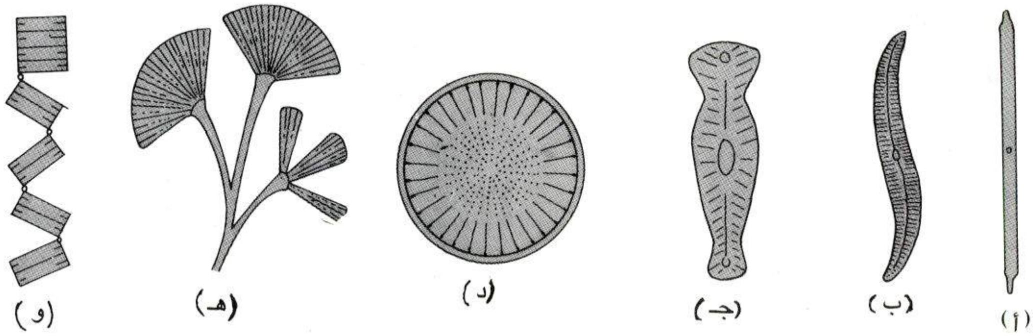
اما التكاثر reproduction (شكل 19ـ18) فهو من اللاجنسى والجنسى من النمط غير متماثل الامشاج . يحدث التكاثر اللاجنسى asexual عادة بواسطة سبورات لاجنسية كبيرة large zoospores ، تتكون كل على انفراد فى حوافظ السبورات sporangia الصولجانية الشكل والمنتفخة ، وتكون مقطوعة عند نهايات الشعب . اما السبورات اللاجنسية فتكون متعددة الانوية تغطى سطحها اسواط عديدة . تتولد هذه الاسواط ازواجا . كما ويعتبر السبور اللاجنسى ، تركيبا معقدا يمثل عددا كبيرا من سبورات لاجنسية صغيرة ثنائية الاسواط قد اخفقت ان تنفصل . تتحرر السبورات اللاجنسية من حافظة السبورات من خلال ثغرة قمية ، ومن ثم تتحول سابحة فترة قصيرة تستقر بعدها وتسحب اسواطها وتبدأ فى الانبات بادئة حياة نبات جديد .

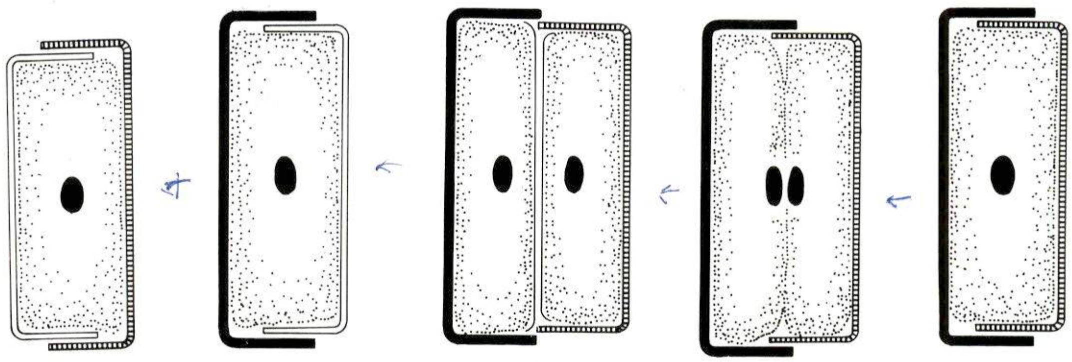
فى التكاثر الجنسى sexual reproduction تنتج الاعضاء الجنسية ـ مولدات البيض (اوجونات) oogonia والانثريدات (اعضاء التذكير) antheridia عادة فى نفس الشريط وعلى نفس الفرع (الشعبة) الجانبى ، او تنشأ على فرعين متجاورين . وتكون مولدات البيض نموات طرفية او جانبية مفصولة بجدار عن الشريط الرئيسى او الفرع المخصب ، وتحمل فى طياتها بيضة كبيرة واحدة احادية النواة ، تحوى بدورها بلاستيدات وقطرات زيتية بارزة . يتألف الانثريديا من القسم الطرفى لفرع جانبى ؛ ويكون مقوسا فى العادة ومحتويا على عدد كبير من السبرمات ذات الاسواط الثانوية الدقيقة . تفلت السبرمات من خلال ثغرة واحدة او اكثر . موجودة فى الانثريديا . وتتسلل الى مولدات البيض من خلال ثغرة واحدة . يندمج Fuses واحد من السبرمات مع نواة البيضة ، وبعد الاخصاب تكون البيضة المخصبة (زيجوت) جدارا سميكا ومن ثم تدخل فى طور السبات ، ومع بدء الانبات ينمو الزيجوت مباشرة مكوناً شريطا جديدا .

تتنوع الطحالب البنية الذهبية (شكل 19ـ18) تنوعا كبيراً فى الشكل ، مثلها فى ذلك مثل الطحالب الخضراء المصفرة ، على الرغم من ان اغلبها من النوع الوحيد الخلية المتحرك ، او تتخذ اشكال المستعمرات اللاشرطية . وتحمل خلاياها واحدة او اكثر من البلاستيدات الكبيرة التى تحوى علاوة على الكلوروفيل . فيضـا من بعض صبغات الكاروتينيات . يدخل فى عداد هذه الرتبة السوطيات السليكـونيـة Silicoflagellates والكـوكـوليثـوفـورات coccolithophore ، وتعتبر من الكائنات المهمة المنتجة للغذاء النسيجى فى البحر .

الدياتومات : Diatoms

تعتبر الدياتومات من الطحالب احادية الخلية وتوجد بهيئة مستعمرات (شكل 19ـ19) وتنتشر بكثرة فى كل من المياه العذبة والمالحة . غالبية انواعها توجد سابحة حرة ، بينما يعيش بعضها ملتصقا بالنباتات او غيرها من الاشياء . يتركب جدار الخلية من نصفين او مايسمى بالصمامين ، يتراكب واحد منهما على الآخر مثل علبة حبوب الدواء (شكل 19ـ19) ، وانطلاقا من شكل الخلية يمكن تقسيم الدياتومات الى مجموعتين كبيرتين ، الدياتومات الريشية Pennate diatoms ، وتتمتع بتماثل جانبى bilateral



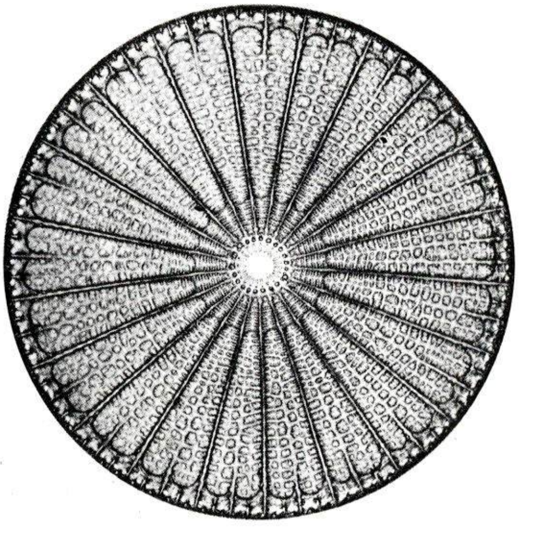


شكل (19 ـ 19) (الاعلى) : انواع الدياتومات
أ ـ سينيدرا Synedra ب ـ بلوروسيجما Pleurosigma جـ ـ جومفونيما Gomphonema
د ـ سيكولوتيلا (الدورية) Cyclotella هـ ـ ليسموفورا Licmophora و ـ تابيلاريا Tabellaria
(الأسفل) : التكاثر الخضرى فى الدياتومات

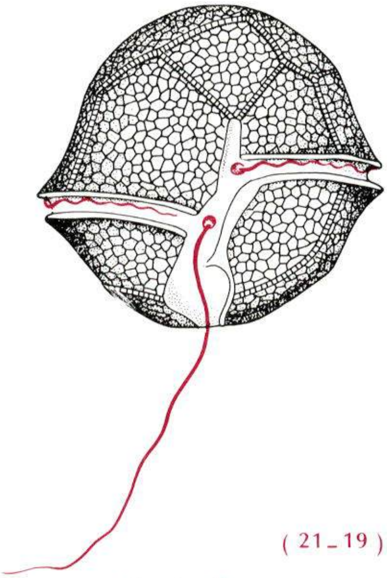
symmetry (شكل 19ـ19 أ ، ب ، جـ) ، والدياتومات المحورية centric diatoms ، وتتمتع بتماثل قطرى radial symmetry (شكل 19ـ20) .

يتكون جدار الخلية من طبقة داخلية بكتينية وطبقة خارجية من السليكا silica (SiO_2) ، وهى احد اكثر المعادن الواسعة انتشارا فى العالم ، وتدخل فى تركيب الزجاج ، يجب الحصول على السليكون من البيئة المحيطة فى صورة محلول ، عندما يتحطم البكتين والمحتويات العضوية للخلية ، تظهر بقايا قوقعة السليكا شفافة . يغطى الصمامان بنتوءات محززة عديدة الاشكال منها ماهو على شكل الخرز او الضلوع او المسام او اى علامات اخرى تكسب الدياتومات مظهرا خلابا تحت المجهر (شكل 19ـ20) . ووظيفة تلك المسام التى تتخلل القوقعة الصماء انها تسمح بالاتصال بين البروتوبلاست الحبيبى والبيئة المائية . تنغمر فى السيتوبلازم بلاستيدة واحدة او اكثر تحمل صبغة بنية ذهبية تحجب الكلوروفيل . يختزن الغذاء اساسا فى صورة زيت ، كثيرا مايظهر فى الخلايا على هيئة قطرات كبيرة متكورة .

يمكن للدياتومات ان تتكاثر تكاثراً جنسيا ، غير ان الطريقة الاساسية للتكاثر تكون بالانقسام الخلوى (شكل 19ـ19) . اذ تنقسم النواة والبروتوبلازم والبلاستيدات مكونة اثنين من البروتوبلاست ، يرقد كل منهما داخل احد



شكل (19 ـ 20) صورة فوتوغرافية مكبرة للدياتومات (اراكنويديسكس اهرينبيرجى الكليفورنية) .
(Arachnoidiscus ehrenbergii var. californica
وتظهر علامات على جدار الخلية .



شكل (19 ـ 21)
الدينوسوطيات Dinoflagellates
(البيريدنيوم Peridinium)

الصمامين ، ومن ثم ينمو جدار جديد فوق كل بروتوبلاست عار ، مكونا بذلك صماما داخليا . اما الخليتان البنويتان فتنفصلان وقد تبقيان متجاورتين فى مستعمرة تكون خلاياها متماسكة بصمغ نباتى .

انواع الدياتومات عديدة للغاية (حوالى 10000) اما افراد النبات التى تعيش الآن او التى يعرف انها قد عاشت فى الماضى الجيولوجى فلا تقبل الحصر . غالبية الانواع بحرية ، تسقط الى القاع عندما تموت ، وبفضل تركيبها السليكونى تحفظ جدران خلاياها امدا طويلا . توجد كميات هائلة من ترسبات هذه المادة وتعرف باسم الارض الدياتومية ، وذلك فى العديد من بقاع الارض ـ واكبر احواض هذه المادة الموجودة فى الولايات المتحدة يفوق سمكها 450 مترا ، وتوجد فى كاليفورنيا . وهذه الاحواض من الرسوبيات التى ترسبت اساسا فى قاع المحيط ثم ارتفعت فوق سطحه .

وبسبب كون الارض الدياتومية خاملة كيمائيا ولتمتعها بخواص فيزيائية غير عادية ، فقد اصبحت مادة خام هامة وثمينة بالنسبة للصناعة . اذ تصلح ان تكون عاملا مثاليا مساعدا على الترشيح ينتشر استخدامه لازالة مواد التلوين من منتجات كثيرة ومتنوعة ، تشمل كل من البنزين والسكر . وبوضعها موصلا رديئا للحرارة تستخدم فى العزل الحرارى للمراجل (او الغلايات) وانابيب البخار . ولكونها تمتص الصوت تستخدم فى العزل الصوتى . كما تستخدم ايضا فى انتاج وتصنيع انواع الطلاء والورنيش . وبسبب طلاوتها تستغل كمادة حاكة فى اعمال الصقل والتلميع .

القسم الخامس ـ البيروفايتا . Division 5 Pyrrhophyta

معظم اعضاء قسم البيروفايتا من الدينوسوطيات dinoflagellates . وتحتوى هذه على اصناف عديدة من الانواع المتحركة احادية الخلية . يكون بعضها عاريا بينما اغلبها لها جدران خلوية . وصفتها الرئيسية تكمن فى وجود تجويفين او اخدودين خارجيين يحوى كل منهما سوطا واحدا (شكل 19ـ21) ، ويكون احد الاخدودين مستعرضا ومحيطا تماما ، بينما يكون الآخر طوليا ويمتد على جانب واحد منها فقط . ويكون جدار الخلية ، ان وجد ، مقسما فى العادة الى صفائح من مضلعات سليولوزية تترابط باحكام مع بعضها . وتحوى الخلية عددا من البلاستيدات تحمل كلا

من الكلورفيل وصبغة بنية يشوبها اصفرار . والطريقة المعتادة للتكاثر تكون بـالانقسام الخلـوى . معظم الدينوسوطيات بحرية ، على الرغم من ان بعض الانواع منها تعيش فى الماء العذب بوفرة احيانا . يتمتع عدد من انواع الدينوسوطيات البحرية مثلها مثل انواع معينة من الحيوانات البحرية الدقيقة بخاصية الومض (التفسفر) Phosphorecent ، اذ تشع ضوءا من شدته تظهر هذه النباتات بوضوح تام ليلا خصوصا عند هياج البحر . يلعب كل من الدينوسوطيات والدياتومات دورا اساسيا فى اقتصاديات البحار .

الحياة فى الماء ـ العوالق : Life in the Water – The Plankton

يحوى الماء العذب والمالح على حد سواء كميات هائلة من مختلف اصناف الكائنات الحية فبعضها يعيش على القاع والبعض الآخر يرتبط بشىء ما ، والثالث يسبح حرا . الكثير من هذه الاحياء يطفو على السطح او بالقرب منه ويكون غير متحرك او سابحا لا اراديا ، متعرضا بذلك لفعل المد والجزر والتيارات البحرية . وتسمى هذه الانواع ، حرة الطفو ، بالعوالق plankton ، وتنقسم الى مجموعتين : العوالق النبـاتيـة (phytoplankton) والعـوالق الحيـوانيـة (zooplankton) بعض مكونات العوالق ، مثل بعض انواع الطحالب والاسماك الهلامية Jellyfishes ، تكون كبيرة ولكن اغلبها تكون صغيرة مجهرية او قريبة من المجهرية ، فى الكتابة العامة يستخدم مصطلح العوالق تعبيراً عن الاشكال الكبيرة للحياة الطافية .

تكون العوالق النباتية فى الاساس احادية الخلية او توجد فى مستعمرات ، وتحتوى على انواع تمثل غالبية رتب الطحالب ، بالاضافة الى بعض انواع البكتريا والفطريات . اما مكونات العوالق الحيوانية فإما ان تكون احادية الخلية او متعددة الخلايا ، وتتضمن اصنافاً عديدة من الحيوانات الصغيرة اللافقرية invertebrate ، هذا بجانب الاطوار اليرقية larval stages للحيوانات الاكبر حجما . تتميز العوالق بأهميتها الكبرى بالنسبة للاشكال الاخرى للحياة سواء المائية ، او الارضية كما تستحيل المبالغة فى اهمية العوالق بالنسبة للدورات الغذائية فى الماء .

دورات الغذاء البحرية : *Food chains of the sea*

لقد سبق ان اكدنا على ان النباتات الخضراء تعول بشكل او بآخر كل حياة الحيوان ، بما فى ذلك الانسان نفسه . فالنباتات الخضراء تشكل الحلقة الابتدائية او الاساسية فى الكثير من الدورات الغذائية المتباينة . اذ تعتمد الحياة البحرية ، مثلها فى ذلك مثل الحياة على الارض ، على النشاطات التى تقوم بها الاحياء ذاتية التغذية ، ولكن هنا تعتبر الطحالب نفسها هى القاعدة الاساسية فى كل الدورات الغذائية . واذا اخذنا فى الاعتبار ان البحار والمحيطات تشكل حوالى 71٪ من سطح كوكبنا ، اى مايساوى 140 مليون ميل مربع ، وان حجم مياه البحار والمحيطات هو 324 مليون ميل مكعب اى مايزيد عن احد عشر ضعف حجم اليابسة الظاهر فوق سطح البحر ، وقدرنا الكائنات الحية التى تعيش فى هذا الحجم من الماء ، ظهرت لنا صورة شبه واضحة تبرز دور الطحالب فى الدورات الغذائية .

تحوى البحار والمحيطات احياء نباتية وحيوانية تتباين كثيرا فى الشكل ودرجات التعقيد ، وباعتبار حياة النبات موضع دراستنا ، يتوفر الكثير من العناصر المعدنية الضرورية ، كالكالسيوم والكبريت والبوتاسيوم والمغنسيوم ، بكميات معقولة فى العادة ، مثلها فى ذلك مثل الغازين الضروريين ونعنى الاوكسجين وثانى اوكسيد الكربون . تختلف العوالق من منطقة الى اخرى من ناحية كثافة افرادها ، عادة ماتكون كميات مركبات النتـروجين ، والفوسفور بنوع خاص من العوامل المحددة للتطوير

تقوم العوالق النباتية ، عندما تتزود بكميات مناسبة من اشعة الشمس والعناصر الضرورية ببناء مواد غذائية عضوية مثلها فى ذلك مثل نباتات الارض . ويمثل درجة اعتماد حيوانات الارض على فعاليات ورقة النبات الخضراء ، يكمن سر حياة الاسماك وغيرها من اشكال الحياة الحيوانية البحرية فى اعتمادها على الطحالب بصورة مباشرة أو غير مباشرة كما تشكل الاسماك بدورها طعاما اساسيا فى قائمة طعام الحيوانات البحرية الاكبر حجما بما فيها الانسان . تعتبر كل من الدياتومات والدينوسوطيات المكونات الاكثر اهمية من بين العوالق النباتية . والتى تكون بدورها العناصر الاساسية فى هذا المنحنى الحياتى . فالدياتومات ، وهى الاكثر تعدادا لوفرتها الشديدة فى البحار ، تتغير مع ذلك

عددا وشكلا من مكان الى آخر . فعلى سبيل المثال وجدت الدياتومات على طول الساحل الشرقى للولايات المتحدة بتعداد يتراوح بين المليون والمليونين فى كل غالون (حوالى 4,5 لتر) من مياه البحر .

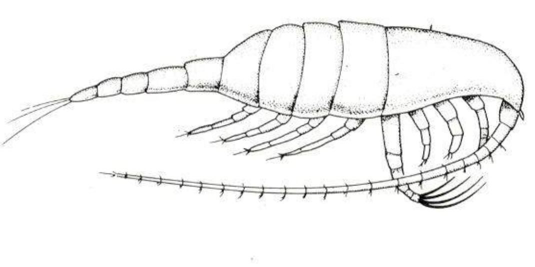
أما الدينوسوطيات فتعيش بأعداد أقل ، لذا فهى أقل اهمية بالمقارنة بالدياتومات . ومع ذلك فكثافتها ليست بالقليلة إذ تبلغ وفرتها أحيانا ، درجة تغير ماء البحر أو المحيط فى مساحات هائلة . ويحدث مثل هذا الانفجار التعدادى من وقت إلى آخر فى خليج المكسيك . إذ تكتسب المياه درجات لونية تتراوح بين الاصفر والبنى المحمر ومن هنا جـاءت تسمـيـة المـد والجـزر الأحمر . لقد احصيت اعـداد الدينوسوطـيات فى احدى مناطق عيشها فبلغت أكثر من 600 مليون خلية فى الغالون . ونتيجة للمادة السامة التى تفرزها الدينوسوطيات فى مياه المناطق المصابة بها ، تموت الملايين العديدة من الاسماك ، ويلفظها المحيط على رمال شواطىء فلوريدا الجنوبية ولقد تكرر حدوث هذه الظاهرة منذ عام 1844 فى حدود معلوماتنا . لقد عرفت حالات مشابهة من تلون مياه البحار والمحيطات . أو ما يسمى تنوير ماء البحر Blooming of the sea ، نتيجة للدينوسوطيات وغيرها من الطحالب فى مناطق عديدة أخرى من أنحاء العالم .

إن العلاقات الغذائية فى الماء ، كمثيلاتها على الأرض تبلغ درجات كبيرة من التنوع والتشابك فكما يحدث على الارض ربما تصنف الاحياء المائية ما بين منتج ومستهلك . وتعتبر بعض الدورات الغذائية بسيطة مثل تلك الدورة التى تستهلك فيها القواقع oysters الدياتومات ، وتتعرض الاولى بدورها للالتهام من قبل الأسماك النجمية starfish أو الأكل من قبل الانسان . وتشكل مثل هذه الدورة الغذائية مشكلة صحية عامة . فهناك نوع من الدينوسوطيات يتواجد فى الاساس على طول شواطىء المحيط الهادى فى امريكا الشمالية ينتج سما زعافا ، تصل درجة سميته إلى أن الواحد على المليون من الجرام من هذه المادة يقتل فأرا . تستهلك القواقع البحرية الرخوية Marine Mussels كميات هائلة من الدينوسوطيات هذه ، وتركز المادة السمية فى غددها الهضمية واكبادها ولا تكون المادة السمية ضارة بالقواقع ، غير أن استهلاك الانسان لها أثناء فصل الصيف يحدث أمراضا شديدة ربما تؤدى الى الوفاة .

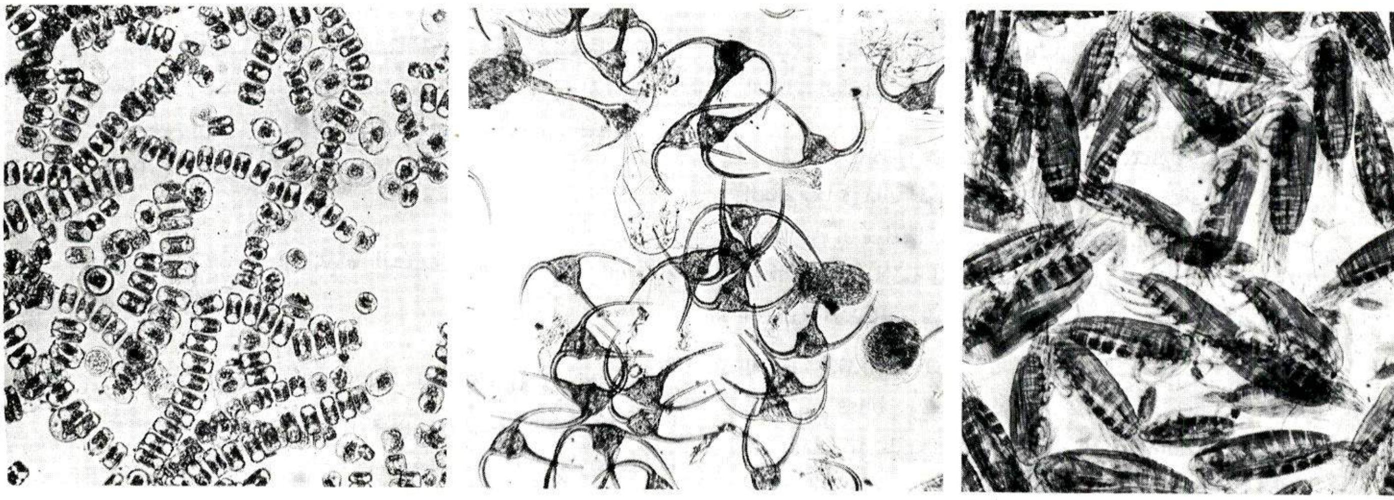
والحالة الاكثر شيوعا هى أن تلعب العديد من أنواع الكائنات الحية دورا يتدخل بين المنتج والمستهلك النهائى . فالعوالق النباتية تشكل غذاء العوالق الحيوانية . أما الأفراد البارزة من العوالق الحيوانية فهى الكوبيبودات Copepods (شكل 19 ـ 22) وهى طائفة فرعية من القشريات البحرية Crustacea . وتحوى الاخيرة أيضا السرطان lobster ودويبة كثيرة القوائم sow bug والبرنقيل barnacle . والكوبيبودات هى حيوانات صغيرة حرة السباحة يتراوح طولها من 1 ـ 10 ملليمتر وتعيش فى وفرة عددية هناك تقدير لعددها فى خليج ماين (شكل 19 ـ 23) . على سبيل المثال بأنها تتراوح بين 6000 ـ 50000 فى المتر المربع من السطح .

تتغذى الكوبيبودات على الدياتومات والدينوسوطيات (شكل 19 ـ 23) وغيرها من العوالق النباتية وتتغذى الاسماك الصغيرة على الكوبيبودات والتى بدورها تعتبر طعما للاسماك الاكبر مثل الاسماك الزرقاء والاسماك السيفية والتن ، والتى بالتالى ربما تستخدم كغذاء للانسان .

أما العوالق الحيوانية والتى تشكل غذاء لذيذا للحيوانات الأكبر ، والتى تشمل ليس فقط الكوبيبودات ولكن أيضا المراحل اليرقية التى تمر بها القشريات البحرية والديدان الدقيقة والقواقع الصغيرة وغيرها من الكائنات الحية الحيوانية . يتغذى العديد من أنواع الاسماك على العوالق



شكل (19 ـ 22) كوبيبود Copepod وهو من العوالق الحيوانية المهمة .



شكل (19 ـ 23) عوالق من خليج ماين Maine (إلى اليسار) الدياتومات (اساسا الثالاسيوسيرا Thallassiosira)
(فى الوسط) دينوسوطيات (سيراتيوم Ceratium) (إلى اليمين) أحد أنواع الكوبيبودات (الكالانس C alanus finmarchicus)
وطولها من 2 ـ 5 ملليمترات .

سواء النباتية أو الحيوانية وذلك فى مراحل مختلفة من دورة حياتها . كما تستهلك الأسماك الكبيرة كلا من العوالق الحيوانية والاسماك الاصغر منها . غير أن منتوج الحياة الحيوانية فى البحار يعتمد لدرجة كبرى على الدياتومات . وإذا صح لنا القول بأن أصل اللحم هو الحشائش جاز لنا بنفس القوة أن نرجع أصل الاسماك الى الدياتومات .

الغذاء من مصادر بحرية : *Food from the sea*

يعتبر التكثيف فى استغلال المحيطات والبحار أحد أهم آفاق حل المشكلة الغذائية على ضوء المشاكل الناجمة من الانفجار السكانى على كوكبنا . تقول التقديرات الحالية إن المحيطات والبحار تزودنا بحوالى 15٪ من استهلاك العالم للبروتين الحيوانى . وهنا لابد من التساؤل هل نستطيع أن نزيد هذه النسبة وهل يسبب هذا الاستغلال تبديدا فى الاحتياطات البحرية ؟ ربما يتخذ تكثيف الانتفاع بنتاج البحر أحد الشكلين : (1) جنى نتاج البحر بمستوى المنتج أى العوالق النباتية . ويعنى هذا تجنب فقد الطاقة الضائع فى الدورات الغذائية ، أو (2) تكثيف صيد الاسماك . إن جنى محصول البحر من الطحالب وغيرها من العوالق سوف يسبب لا محالة انخفاض انتاج الاسماك ولقد تم استيضاح أن الطاقة المبذولة لجنى هذه المحاصيل سوف تزيد عن مردود الطاقة بما يستهلكه الانسان منها . لقد جرى التوسع فى صيد الاسماك غير أن بعض أنواع الاسماك قد اجهدت بزيادة الصيد بما يظهر فى بعض مناطق المحيطات من علامات الاستنفاذ . من الخطأ اعتبار ان الاحتياطيات البحرية لا نهائية ، لذا يجب أن يؤخذ فى الاعتبار دائما وجود عوامل محدودة للانتاج البحرى تشمل الاغذية المعدنية التى تحتاج لها العوالق النباتية . ومن بين مكونات الاخيرة الاساسية يقع النتروجين والفوسفور ، ويفرزان فى الاساس من مياه الصرف الخارجة عن مساحات الاراضى الشاسعة ويجب تواجد هذين العنصرين فى المناطق شديدة الاضاءة حيث تعيش العوالق النباتية وتفقد هذه العوالق فى مناطق صيد الاسماك ، وبسبب هبوطها إلى القاع من جراء تحلل النباتات واجسام الحيوانات أو فى افرازات الحيوانات وغيرها من النفايات الاخرى . وفى الحقيقة توجد مع ذلك تيارات صاعدة من أعماق بحرية كبيرة تتسبب ـ من جراء تثبيت الطاقة ونقلها فى تنمية حقول شاسعة وغنية لصيد الاسماك غير أن غالبية هذه المناطق قد أجهدت بشدة من جراء الصيد المكثف.ومن هنا نجد أن المحيطات ،على رغم من مضاعفة

صيد الاسماك بالطرق الحديثة قد اضحت مساحات كبيرة منها مجهدة بالاستغلال المبالغ فيه وبالتلوث ، لذا أصبحت لا تستطيع أن تقدم حلا جذريا لسد احتياجاتنا من الغذاء نظرا للزيادة المطردة فى سكان العالم .

دورات الغذاء فى المياه العذبة : *Food chains in fresh water*

تتشابه العلاقات الغذائية فى المياه العذبة مع مثيلاتها فى المحيطات والبحار . ففيها فيض وفير من الدياتومات أما الدينوسوطيات فتقل كثيرا من حيث أهميتها ، مقارنة بحالها فى البحار . وعلاوة على الدياتومات تتغذى العوالق الحيوانية على وحيدة الخلية والأشكال المستعمرية من الطحالب الخضراء المزرقة والخضراء والبنية والذهبية وغيرها من طحالب المياه العذبة ومن بين المكونات الهامة للعوالق الحيوانية التى تعيش فى المياه العذبة ، توجد الكوبيبودات وبراغيث الماء water fleas والدوار (الحييوينات العجلية) rotifers or wheel animnlcule (عوالق لا نقريه ؟ متعددة الخلايا لها عضو يشبه العجلة تستخدمه فى الحركة والتغذية ـ تعيش فى المياه العذبة) ، ويرقات العديد من انواع الحشرات . تتغذى بعض انواع الاسماك ، كالمنوة minnows (والشكير (الساقر) suckers وسمكة الشمس sunfish والابراميس bream الشابل او حوصلة الصابوغة gizzard shad على العوالق الحيوانية وتلتهمها بدورها اسماك الصيد مثل الترونة (السلمون المرقط) trout والكراكى الصغير Pickerel وسمك الكراكى pike والفرخ perch والقاروص bass . كما أن الاسماك الاكبر تتغذى على العوالق الحيوانية ، علاوة على يرقات الحشرات والحشرات البالغة .

كثيرا ما تقام فى مجارى المياه والبحيرات مزارع سمكية وذلك كوسيلة لزيادة انتاج الغذاء ولأغراض تجديدها . ويتوجب قبل القيام بهذا العمل اجراء مسح شامل للوقوف على مدى ملاءمة عوامل مثل درجة الحرارة ودرجة التلوث وبصورة خاصة الوفرة النسبية للغذاء الطبيعى للاسماك . لقد أقيمت بعض هذه المزارع السمكية أحيانا بدون توفر المعلومات الكاملة عن طبيعة بيئة مجارى المياه أو البحيرات المعينة . وتعتبر مثل هذه المشاريع خاسرة ما لم يتواجد الغذاء الطبيعى بكميات كافية لاعاشة الاسماك وتنميتها .

لقد زادت كثيرا مردودات مزارع الأسماك فى بعض مناطق العالم بما فى ذلك الموجود منها فى امريكا الشمالية ، وذلك عن طريق تزويد مياهها بالمخصبات المعدنية الاضافية التى تحفز فى الظروف الملائمة لنمو الطحالب ومن ثم تبدأ هذه العوالق النباتية الاضافية موجة من النمو مما يرفع من مستوى الـدورة الغذائيـة كلها ، وبمـا ينتهى بصيد وفـير من اسمـاك القاروص bass . وتعتبر هذه الطريقة بكل تبايناتهـا العديـدة قوة دافعة على طريق ترسيخ ازدهار المزارع السمكية بوصفها جزءا لايتجزأ من بـرنامـج استغلال الاراضى الطـويل الأجـل والذى يعول عليه فى نفس الوقت .

الطحـالـب ومصـادر الميـاه : Algae and Water Supplies

بينما تكون الطحالب عامـلا مهما من بـين الكائنـات الحية المنتجة فى كل من المياه العذبة والمالحـة بدوراتهمـا الغذائيـة ، غـير انهـا ربمـا تكـون شـديـدة الضرر بـالصحـة العـامـة deleterious . فـاثناء الـربيع والخـريف ، فى شهور الصيف بشكل خاص قد تصبح العوالق النباتية فى البرك ومجارى المياه والبحيرات وخزانات المياه من الوفرة بمكان تظهر معه واضحة جلية . ويتعكر الماء ، بل ربما يصطبغ بالوان بنيـة اوحمراء او صفراء اوخضراء . وقد تتكـون حصيرة عـائمة اوزبـد (ريم) عائم بسببها . ان تلـك المظاهـر الجلية والـدالة عـلى عظم نمو الطحالب تسمى ايضا بتنوير المـاء Water blooms . وتكون مثل هذه التراكيز العالية غير مرغوب فيها تمـاما ، ليس فقط فى مصادر المياه العامة وحدها بل ايضا فى مياه الاستحمام وصيد الاسمـاك وغيرهـا من اماكن الاستجمـام والمنتجعـات.تصنف الطحـالب المسئولـة عن ذلك فى اربـع مجاميـع : 1ـ الطحالب الخضراء المزرقة ، 2ـ الـدياتـومات ، 3ـ الطحـالب الخضراء الشريطية واللاشريطية غير المتحركة ، واخـيرا 4ـ السوطيـات ومنهـا المتحـرك الاخضر واليـوجلينيـات والـدينـوسـوطيـات والخضراء المصفرة . عندما حصرت انواع الطحالب العامـة او الشائعة فى عمليـة « تنويـر المياه » فى مصـادر الماء العـذب فى شمال امريكـا زاد عددهـا عن 135 جنسا منهـا . تكسب هذه

الطحالب سواء الحية أو المتحللة منها المياه رائحة كريهة مثل رائحة زريبة الخنزير ومذاقا غير مستساغ . وتتكون نواتج تحلل سمية من تفسخ بعض انواع الطحالب الخضراء المزرقة ، مما يتسبب فى بعض الاحوال المعروفة فى قتل الحيوانات الاليفة التى دأبت على شرب هذه المياه الملوثة . كما تسبب فى كثافة تواجد الطحالب ايضا فى نشوء صعوبات امام عمليات الترشيح ومعالجة المياه لغرض الشرب .

لقد اتبعت طرائق عديدة فى التحكم فى نمو الطحالب فى البحيرات والخزانات بما فى ذلك استخدام المركبات الكيميائية ، واكثرها استعمالا هو كبريتات النحاس بتركيز يقل عن واحد فى المليون . يكون لاستخدام هذه المادة عدة مضار بل ربما يكون تأثيره مؤقتا فعلى سبيل المثال قد تقضى المادة الكيميائية على غالبية الطحالب « المذ نبة » ولكنها قد لاتؤثر فى الانواع قوية المقاومة فتعيش وتنتج ازدهار (تنويرات) blooms لايمكن التحكم فيه ، نتيجة للتحرر الفجائى للعناصر الغذائية الذى يصاحب تحلل البكتريا والطحالب الميتة .

ربما يحدث « ازدهار » الطحالب فى البحيرات وخزانات المياه غير الملوثة نسبيا - اى تلك الحاوية على محتوى منخفض من الغذاء المعدنى - ولكن هناك مشاكل اكثر اهمية تظهر فى البحيرات اومنابع المياه التى تتلقى امدادا غير عادى من المواد الغذائية ، مما يسبب فى ازدهار نمو طحالب كثيرة ومتمتعة بحياة اطول . وربما يحدث ذلك عندما تتلوث المصادر المائية بمياه المجارى غير المعالجة او تلك المعالجة جزئيا ، (بما يزيد فى ذلك المعالجة الضمنية بالمطهرات المنزلية) ومياه الصرف من الاراضى الزراعية اومياه الصرف من العمليات الصناعية . والاحداث التالية هى مجرد جزء من الملحمة العامة لتدهور البيئة المحيطة بالانسان كنتيجة مباشرة لنشاطاته وتلعب الطحالب دورا بارزا فى هذه الاحداث .

وكمثال على تدهور العديد من البحيرات العذبة المنتشرة فى العالم نستعرض بايجاز بعضها . يصيب البحيرات الهرم فى ظل الظروف الطبيعية ، ونعنى بهذا انها تتدهور الى الجفاف بعد امتلاء وتصبح ارضا جافة يحمل الى البحيرات مع مياه المجارى المائية التى تصب فيها مواد ذائبة ومعلقة لها اصل عضوى وغير عضوى . والنتيجة حدوث تزايد تدريجى فى المواد الغذائية الموجودة فى الماء بما يسمح بنمو الطحالب وازدهار الاسماك وغيرها من الحيوانات الاخرى . وتسمى هذه العملية بالاغناء الطبيعى natural eutrofication ويسبب موت الاحياء ارتفاع قاع البحيرة نتيجة لترسبها وما تحمله من جسيمات معدنية . يستغرق تقادم البحيرة وجفافها آلاف السنين تحت الظروف المستقرة ، واذا ما تلوثت البحيرات بمياه المجارى وغيرها من المواد العضوية تتعرض البحيرة لعملية اصطناعية من الاغناء بالاغذية العضوية والمعدنية تسمى بالاغناء المعدنى cultural eutrophication . مما يسرع فى عملية الهرم ويصاحب هذا تغيرات تضر بالصحة العامة يمكن ملاحظتها خلال بضعة عقود من السنين . وتفسير ذلك يمكن فى ان مياه المجارى والصرف غنية بالفوسفات والنتيروجين غير العضويين ، مما يحفز احداث انفجار سكانى بين افراد العوالق النباتية . تلك التى تتمتع بميل نحو تغيير تراكيبها مما يجعل الطحالب الخضراء المزرقة هى السائدة ، وتنخفض بشدة نسبة تركيز الاوكسجين المذاب والمسئول الاول عن ذلك هو نشاطات بكتريا التحلل . وتتأثر بذلك اكثر من غيرها الطبقات السفلى من الماء ، تلك التى تصبح لاهوائية بدرجة يمتنع عندها التفسخ بما يؤثر بالضرورة على عالم الحيوان القاطن فى اعماق البحيرة . وتترسب البقايا العضوية فى قاع البحيرة الامر الذى يرفع منسوبها ويزيد من عمق الطبقة المترسبة وربما يسبب ايضا الامداد الزائد بالغذاء تحفيز نمو النباتات المائية الجذرية والطحالب الشريطية المتصلة بها والاخرى التى تعيش فى المياه الضحلة على طول شواطىء البحيرة مما يؤدى الى انكماش محيط البحيرة المصاحب لارتفاع قاعها .

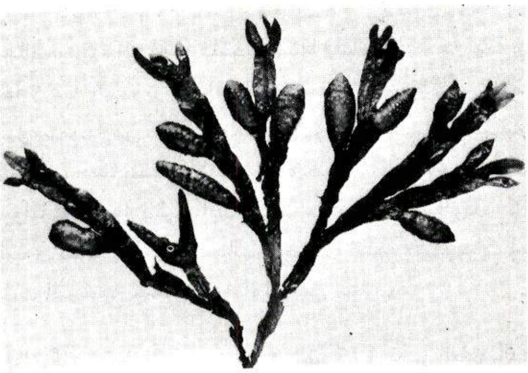
ان المعدل الزائد للاغناء بالاغذية العضوية والمعدنية ربما ينتج ايضا من جراء قطع اشجار الغابات المحيطة بالبحيرة والتى كانت مصدرا بصرف مياهها المحملة بالاغذية . وربما يؤدى هذا ايضا الى زيادة التربة (تعرية التربة) erosion ، وانتقال التفل siltالى البحيرة ، وقد يغتنى الماء نتيجة لزيادة معدل انسياب المواد الغذائية من الارض ، وربما تتقلص البحيرة الى غدير ومنه الى مستنقع ومنه أخيراً الى ارض مرجية جافة .

ربما تحدث كل هذه العمليات المذكورة حتى فى اضخم بحيرات العالم ، خصوصا تلك الغاصة بسكانها من الاحياء .

توجد شواهد حول حدوث هذه العملية فى الكثير من بحيرات امريكا الشمالية تظهر بجلاء كبير فى بعض البحيرات الكبرى great lakes ، تلك التى تحتوى على اكثر من 20٪ من احتياطى المياه العذبة فى العالم . ان عملية زيادة الاغناء بالمواد الغذائية العضوية والمعدنية تظهر بوضوح اكبر فى بحيرة اريى Erie . ففى بعض مناطق هذه البحيرة وفى عام 1930 كانت كثافة الكائنات الحية والتى تتغذى من قاع البحيرة وتسمى بالهكساجينيا ، Hexagenia تتراح بين 400_500 فى المتر المربع ، وما ان حل عام 1961 حتى كانت قد اختفت تماما . تحتاج مثل هذه الاحياء الى الاوكسجين الذائب وتكتسب اهمية خاصة كغذاء للاسماك ومن ثم يتدهور كثيرا صيد الاسماك تجاريا فمثلا هبط صيد الاسماك الكراكى الازرق blue pike (7) آلاف طن سنويا الى اقل من 700 طن عام 1958 ، ثم الى 39 طن عام 1959 ثم الى 455 كجم عام 1962 . لقد تفاقمت عملية اغناء المستنبت الاصطناعى بالاغذية العضوية والمعدنية فى انهر الولايات المتحدة ايضا ، حتى ان الكثير منها قد اصبح قليل الشبه بالمياه الطبيعية . يمكن ان تجف الانهار ايضا كما يحدث للبحيرات اذ تصاب بالاختناق بفعل النفايات التى يستهلك تحللها للاوكسجين وهو ما تعتمد على وجوده الحياة المائية . وزيادة عمليات الاغناء بالمواد الغذائية العضوية والمعدنية يمكن قياسها بل ومن الممكن ايضا ايقافها وتقليلها شريطة ان يكف الانسان عن ممارسته التى تعجل باصابة مصادر المياه بالهرم .

القسم السادس ـ الطحالب البنية Division 6. The Brown Algae

تتميز الطحالب البنية عن الانواع الاخرى بلونها البنى او الاخضر الزيتونى . كما انها تتميز بتركيب جسم النبات وكذلك بالنسبة لاعضاء التكاثر . وجل الطحالب البنية بحرى ، اذ تنتشر كثيرا على طول شواطىء البحار والمحيطات وخصوصا فى البحار الباردة ، لقد صنف منها ما يقارب الالف نوع . تنمو الطحالب البنية على الصخور المغمورة فى الماء باعماق تتراوح بين المترين و 25 مترا ، وتمتد فى نموها باتجاه الشاطىء ، تغطى بالمد العالى ، كل انواعها متعددة الخلايا يتخذ بعضها اشكالا زشيقة بسيطة بينما تكون الانواع الاخرى ذات احجام كبيرة وتتمايز خارجيا . ومن بين انواع الطحالب البنية



شكل (19 ـ 24) الفيوكس Fucus ، جزء من الثالوس ، تحتوى الانتفاخات المسماة بالحافظات الجنسية receptacles على تراكيب التكاثر الجنسى بينما تعتبر الانتفاخات الصغرى مثانات هوائية air bladders

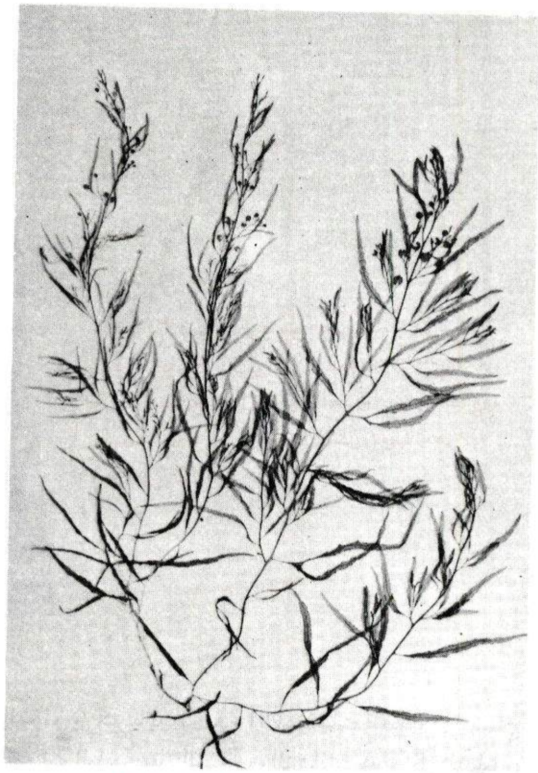
الشائعة حشائش الصخور rockweeds وعنب البحر Bladder - Wracks ، وينتميان الى جنس الفيكوس Fucus والاسكوفيلم Ascophyllum ، والاول ينتشر فى كثير من بقاع العالم خصوصا فى المناطق المعتدلة الشمالية ويتراوح طول نباته بين 30 و90 سم ، ويتعلق فى كتل ضخمة بالصخور المعرضة للمد المنخفض (شكل 1_7 الجزء الاول)، وهناك نوع من عنب البحر ترتفع فروعه الموجودة على جانبى الثالوس ، متجهة الى اعلى نحو سطح الماء . تتضخم اطراف بعض الفروع حاوية الاعضاء الجنسية (شكل 19_24)

يعتبر السارجاسم Sargassum جنسا آخرا معروفا من اجناس الطحالب البنية . ينمو الكثير من انواعه على طول الشواطىء الصخرية للمناطق المعتدلة والاستوائية ، ولكن نوعا واحدا منها هو السارجاسم ناتان Sargassum natans ، يعتبر من المكونات الاساسية لتجمعات الحشائش البحرية العائمة فى شمال الاطلنطى . تتفاوت تلك الكتل حجما من تجمع يحوى القليل من النباتات الى آخر يبلغ قطره مئات الامتار . يطلق على المنطقة من المحيط التى تتواجد فيها هذه الحشائش اسم « بحر سارجاسو Sargasso sea » . ويتحدد هذا «البحر» بالتيارات البحرية فى المحيط ، ويتخذ مساحة بيضوية تبلغ ما يزيد عن المليونى ميل مربع وتمتد من بهاما الى ازور . تتكاثر النباتات بلا نهاية فى اعالى البحر بواسطة التكاثر

الخضرى ـ الطريقة الوحيدة المعروفة لهذا النوع . اما غالبية الانواع فهى جنسية التكاثر ، يصور نوع السارجاسم فليبندولا Sargassum filipendula (شكل 19ـ25) المظهر العام لنباتات هذا الجنس يبلغ طول النبات منها 30 سم او ما يزيد عن ذلك وهو كثير التفرع ويحمل سويقات صغيرة ـ المثانة الهوائية air bladders .

واكبر انواع الطحالب البنية هى عشب البحر Kelps وتعتبر واحدة من بين عمالقة المملكة النباتية . تبلغ اقصى حجم لها على طول الشواطىء الغربية لامريكا الشمالية (شكل 19ـ26). حيث يتخذ بعضها طولا يزيد عن الثلاثين مترا . يتكون النبات عادة من نصل واحد او عدة انصال تشبه الورقة يربط الواحد منها سويق بماسكة شبه جذرية تمسك بقوة باحدى الصخور فى القاع (شكل 19ـ27). اما المثانات الهوائية فهى عبارة عن امتدادات متكورة ومفرغة ، وتوجد على ثالوس العديد من الانواع . كثيرا ما تتمايز الانسجة الداخلية لدرجة ان خلاياها تقترب تركيبيا من العناصر الغربالية فى النباتات الوعائية .

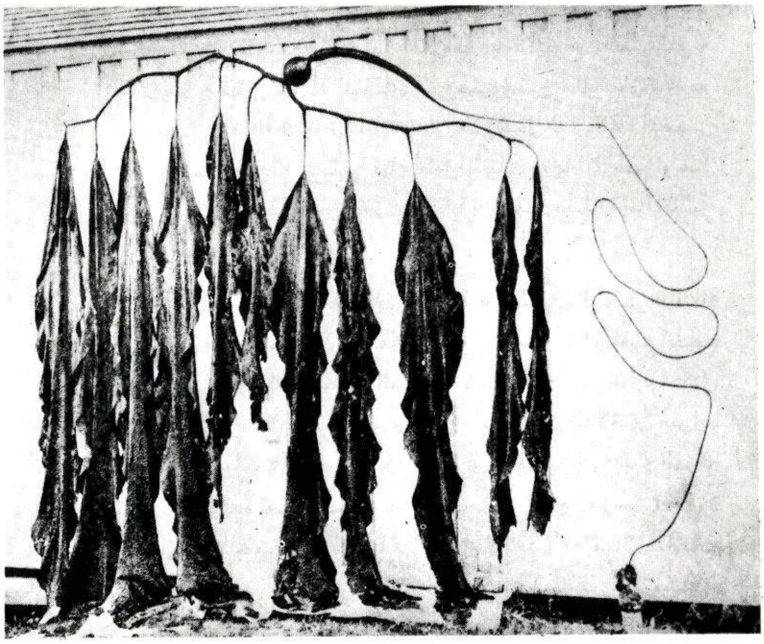
يستخلص نبات عشب البحر ، كغيره من الطحالب الاخرى عددا من العناصر الكيميائية من ماء البحر ، خصوصا



شكل (19 ـ 25) طحالب (السرجاسم فليبيندولا sargassum filipendula وتظهر طبيعة جسم النبات المتفرعة ومثاناته الهوائية المحمولة على سويقات .

شكل (19 ـ 26) طحالب عشب البحر kelp ، وتنمو على صخور المد المنخفض فى واشنطن وهى الاجريغيا Egregia واللاميناريا Laminaria والفيوكس Fucus .





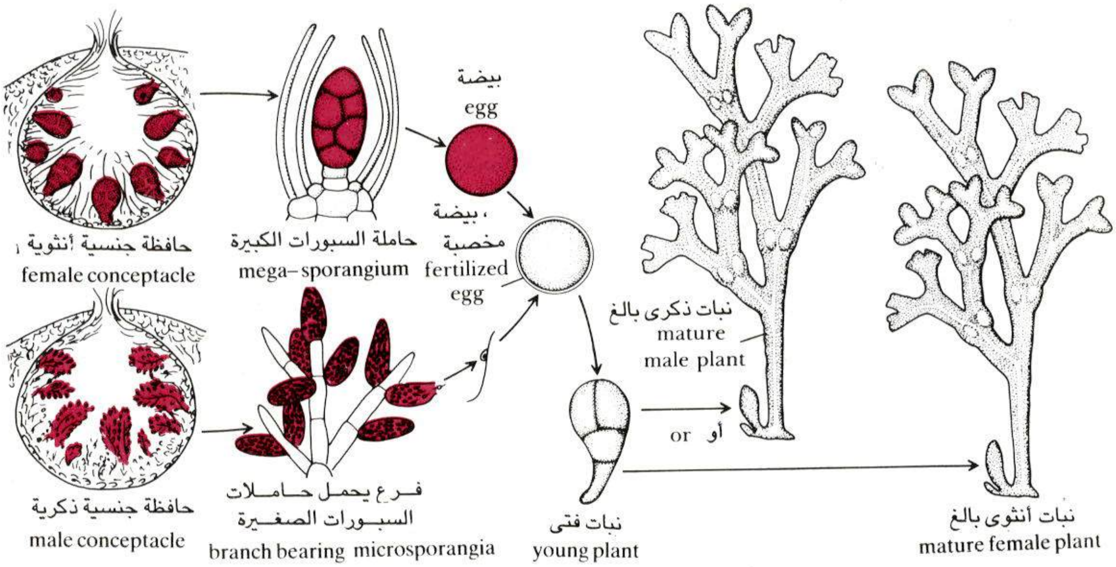
شكل (19 ـ 27) عشب البحر الكبير من نوع (بيلاجوفيكس بورا Pelagophycus porra) ويعيش على ساحل المحيط الهادى . تظهر الصورة ماسكة (فى الركن الأيمن والأسفل) ومثانة هوائية (فى أعلى الصورة) .

البوتاسيوم واليود ويجمعها فى انسجته . اذ يشكل كلوريد البوتاسيوم احيانا ما يوازى 32٪ من وزن نبات عشب البحر الجاف . اما نسبة تركيز اليود فى عشب البحر فربما تزيد عن نسبة تركيزه فى مياه البحر بـ20,000 مرة . لايعتبر استغلال عشب البحر لاستخراج هذه الكيميائيات اقتصاديا فى الولايات المتحدة ، وذلك بسبب توفيرها من مصادر أخرى . يستخدم الانسان الكثير من انواع عشب البحر غذاء له وينتشر هذا فى الشرق الاقصى بنوع خاص كما يستغل هذه النباتات فى شمال اوروبا وبعض المناطق الاخرى كغذاء لحيوانات الحقل . ويرجع استخدام عشب البحر كسماد الى تاريخ قديم وذلك فى مناطق العالم ، وبسبب ما تحويه الاعشاب من النتروجين والبوتاسيوم بنسب عالية ، رغم قلة الفوسفور فيها .

تكتسب مستخلصات عشب البحر اهمية خاصة بالنسبة للعديد من العمليات الصناعية مما يقارب من 50٪ من اجمالى الانتاج التجارى للمرطبات المثلجة (ايس كريم - Ice cream)، يكتسب قوامه المستقر من جراء الالجينات alginates وهى مواد شبه غروية تستخلص من جدران خلايا الطحالب البنية . يكسب استخدام هذه المادة فى المرطبات يكسبها قواما ناعما ويعيق تكون البلورات الجليدية الكبيرة اثناء التخزين كما تستخدم الالجينات ايضا فى انتاج المستحضرات الطبية مثل الحبوب والدهانات (سوائل التدليك) Ointments ومعجون الاسنان ، وكذلك مستحضرات التجميل مثل الكريمات ولوسيونات الحلاقة . وليس ما ذكرنا هو كل قائمة مجالات الاستعمالات الاقتصادية للالجينات .

تكاثر الطحالب البنية : Reproduction in the Brown Algae

يعتبر تعاقب الأجيال فى الطحالب البنية واضح التحديد بشكل عام فجسم النبات الكبير والبارز يشكل عادة عدد جيل 2n من الأجيال ، واذا مااعتبرنا النمط العام لدورة الحياة وجدنا ان الثالوس 2n يطلق فى بعض المناطق المحلية سبورات الانقسام الاختزالى المتحركة والمصطبغة بصبغات وذلك بعد وقوع الانقسام الاختزالى نفسه وتنتج سبورات الانقسام الاختزالى فى اشكال الطحالب الكبرى مثل عشب البحر باعداد كبيرة ، بحيث تتضح أهمية إسهامها فى كميات العوالق النباتية ، وعلى سبيل المثال يكون عدد سبورات الانقسام الاختزالى المنتجة فى حوض كثيف لعشب البحر الحولى الكبير ويسمى نيورسيست Nereocystis الذى ينتشر على الشاطىء الغربى لشمال امريكا ، ويكون إنتاج هذه السبورات فى الفترة



شكل (19 ـ 28) التكاثر الجنسى فى الفيوكس . يظهر جيل الطور المشيجى gametophyte ملونا فى الصورة .

من يونيو الى سبتمبر . يقدر هذا العدد بثلاثة ملايين من سبورات الانقسام الاختزالى فى كل لتر فى اليوم . ويعتقد أن سبورات الانقسام الاختزالى للطحالب البنية قد تواصلت ومن ثم تحولت فى نموها الى نباتات الطور المشيجى المتعدد الخلايا ، وقد تقترب من الطور السبورى حجما ، ولكنه فى العادة أصغر وغير ملحوظ . يحمل الجيل (n) امشاجا إما من النوع المتساوى مع وجود اسواط أو من نوع البيضة غير المتحركة والسبرم المتحرك . وبعد الاخصاب تتطور البيضة المخصبة مكونة طورا سبوريا جديدا يكون ثنائيا فى عدد كرموسومات ويحتمل أن يكون منشأ الطحالب البنية مثلها مثل منشأ الطحالب الخضراء هو اسلاف من السوطيات .

تختلف دورة الحياة فى احدى فصائل الطحالب البنية ـ الفيوكالس Fucales عن غيرها من الرتب الاخرى من وجهتين هامتين (أ) يعتبر جيل الطور المشيجى جيلا مختزلا كثيرا و(2) غياب السبورات اللاجنسية . ثم ان هذه الفصيلة تمثل بواسطة جنس الفيوكس اذ تنتشر انواع هذا الجنس ، لذا تعرضت للكثير من البحوث والاختبارات المختبرية .

واذا ما استثنينا التكاثر بالتجزؤ Fragmentation ، لوجدنا جنس الفيوكس لايتكاثر إلا جنسيا . والنبات غير متماثل الأمشاج ينتج البيضات والسبرمات فى الفروع المنتفخة للثالوس تسمى بالحاملات الجنسية Receptacles (شكل 19 ـ 24) . يظهر على سطوح الحاملات الجنسية مسام ترى بالعين المجردة تفضى هذه المسام الى حيز كروى يسمى بالحافظة الجنسية Conceptacle التى تحوى الأمشاج . تنتج البيضات والسبرمات فى بعض الأنواع فى حافظة جنسية واحدة ، ولكن الأكثر شيوعا أن النوعين يوجدان فى حوافظ منفصلة وعلى نباتات مختلفة .

وفى أحد الانواع التى درست بالتفصيل (فيوكس فيسيكيولوزس Fucus Vesciculosis) ينفصل الجنسان الى ثالوسين مختلفين (شكل 19 ـ 28) . تحوى الحوافظ الجنسية الأنثوية فى داخلها عددا ضخما من حاملات السبورات الكبيرة Megasporangium المحمولة على سويقات . تكون حاملة السبورات الكبيرة احادية الخلية عندما تكون صغيرة . وتحمل الواحدة نواة (2n) واحدة . وبعد الانقسام الاختزالى تنشأ أربعة من السبورات الكبيرة Megaspores سرعان ماينقسم كل منها مرة أخرى (اختزاليا) منتجا ثمانى خلايا . وينشأ عن هذه الخلايا الطور المشيجى الانثوى المختزل كثيرا ، حيث تتوقف تماما متابعة الانقسام ومن ثم تتخذ كل واحدة من الثمانى خلايا وظيفة مباشرة ـ وهى البيضة أى المشيج الانثوى غير المتحرك . أما الحافظة الجنسية الذكرية فتحمل فى طياتها عددا هائلا من حاملات السبورات الصغيرة

البيضاوية Oval (Microspor angia) تترتب فى تجمعات كثيفة على شرائط متفرعة قصيرة تكونت من قاع الحافظة الجنسية وجوانبها على حد سواء . ينشأ من كل حاملة سبورات صغيرة أربعة من السبورات الصغيرة Microsporesتعقب الانقسام الاختزالى . وينقسم كل سبور صغير اختزاليا الى اربع مرات متتالية مكونا بذلك ست عشرة خلية للطور المشيجى الذكرى المختزل . وتكون وظيفة كل هذه الخلايا هى مباشرة عملها كمشيج ذكرى متحرك ، ومن هنا يتضح انتاج 64 مشيجا من كل واحدة من حاملات السبورات الصغيرة . يتميز كل من نوعى الحوافظ الجنسية بوجود شعيرات عديدة وعديمة اللون . وغير متفرعة .

عندما تنضج الأمشاج يتم قذفها فى الماء . وتكون كل من البويضات والسبرمات محاطة فى البداية بغشاء رقيق سرعان مايتمزق وتتحرر الأمشاج . توجد البويضات الحرة غير المتحركة فى فصيلتين من فصائل الطحالب البنية ، ولكن هذه الحالة غير شائعة وذلك بسبب أن البويضات غير المتحركة عموما لاتتحرر قبل اخصابها . وما أن تتحرر السبرمات حتى تتجمع حول البيضة الى أن يتمكن أحدها من اختراقها واخصابها . هناك بعض الشواهد التى تدل على افراز البيضة لمادة كيميائية جذابة لاتعرف طبيعتها حتى الآن . وبعد التلقيح تكون البيضة المخصبة (زيجوت) جدارا ثم تتصل بسطح ماحيث تنمو مكونة نباتا جديدا .

تتشابه دورة الحياة لنبات الفيوكس فى الاساس مع دورة حياة النباتات الوعائية وخصوصا النباتات البذرية اذ نجد هنا أيضا طور (2n) السبورى هو الطور السائد ، كما تتكشف نتائج ميل تطورى باتجاه الطور المشيجى المختزل ، وهو المعتمد تماما على الطور السبورى . والاختزال الجارى فى جيل الطور المشيجى يظهر أنه قد حدث مستقلا فى الكثير من مجاميع النباتات الكبرى وبذلك لاتوجد ادلة حول العلاقات بينهما .

القسم السابع ـ الطحالب الحمراء Division 7 The Red Algae

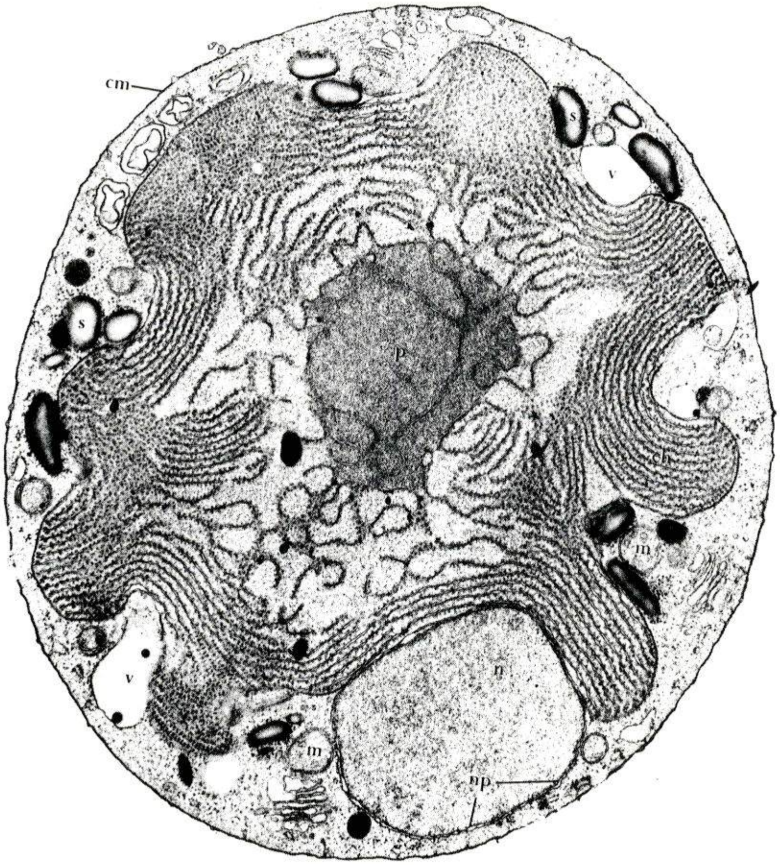
تتميز الطحالب الحمراء بلونها الأحمر الواضح ، هذا مع العلم بأن أنواعا منها تصطبغ بدرجات طفيفة من اللون الأخضر أو البنى كما تتميز أيضا بطبيعة تراكيبها التكاثرية اذ تخلو سبوراتها وأمشاجها من الاسواط ، كما يستخدم التكاثر الجنسى نوعا من الامشاج التخصصية غير المتماثلة



شكل (19 ـ 29) طحالب الداسيا Dasya ـ من الطحالب الحمراء

Oogamy . على الرغم من احتمال نشوء الطحالب الحمراء من السوطيات إلا أنه لاتوجد فى واقع الامر أية شواهد بين اشكالها الحية تعضد مثل هذا الافتراض ومن المحتمل أن تكون أكثر ارتباطا بالطحالب الخضراء المزرقة .

والطحالب الحمراء ، كمثيلاتها البنية ، تعتبر من الكائنات البحرية المطلقة ، فمن بين 2500 نوع يعيش مالايزيد عن 3٪ فى الماء العذب . وتتوزع انواعها بين البحار ، واساسا فى المياه الدافئة . تنمو الطحالب الحمراء على صخور مناطق المد والجزر وكذلك فى المياه بأعماق تسمح باختراق الضوء لها ـ مائة متر او مايزيد قليلا تحت سطح الماء . وجسم النبات كبير نسبيا إلا أنه لايبلغ أبدا حجم الطحالب البنية . فالنبات المفرد لايزيد طوله عن 90 سم إلا فى النادر . بعض أشكال الطحالب الحمراء شريطى والقليل جدا منها أحادى الخلية ، كما أن بعضها معقد التركيب وقد يكون متفرعا وريشيا (شكل 19 ـ 29) أو مفلطحا ممتدا .



شكل (19 ـ 30) صورة بالمجهر الالكترونى لقطاع فى أحد الطحالب الحمراء وحيدة الخلية بورفيريديوم كريونتم porphyridium cruentum ، تتكون البلاستيدة الخضراء الوحيدة الكبيرة من صفائح متوازية تقريبا . أما الحبيبات المصاحبة للفصائح فتحتوى على الفيكوأريثرين phycoerythrin والفيكوسيانين phycocyanin . ترمز (n) للنواة : (np) ثغرة النواة ، (er) الشبكة الاندوبلازمية ؛ (cm) الغشاء الخلوى ؛ (ch) بلاستيدة خضراء ؛ (p) مركز تجميع النشاء ؛ (v) فجوة ؛ (s) جسيمات شبه نشوية ، (m) ميتكوندريا (التكبير 14850 مرة) .

بعض أجناس الطحالب الحمراء احادى الخلية . وأحد هذه الانواع هو البورفيريد يوم كرونتم Prophyridium Cruentum الذى يتخذ الأرض موطنا ، إذ ينموبصورة غشاء جيلاتينى أحمر رقيق يفترش التربة أو يعلو سطوح الجدران الرطبة . تمكن العلماء من انبات هذا النوع فى مزارع (مستنبتات) نقية مما أتاح للباحثين استخدامه فى الكثير من دراساتهم المختبرية . يوضح الشكل (19 ـ 30) تركيب النبات المجهرى الدقيق Ultrastructure .

الطحالب وتكوين الحجر الجيرى : Algae and Limestone Formation

تتمكن الكثير من أنواع الطحالب من سحب الكالسيوم من الماء العذب والمالح على حد سواء وترسبه بصورة كربونات الكالسيوم فى جدران خلاياها أو اغمادها الجيلاتينية . وأبرز أنواع الطحالب فى هذا الشأن هى الخضراء البنية ، والحمراء ، غير أن أنواعا بعينها من الطحالب الخضراء

والكريسوفايتا السوطية Chrysophyte Flagellates معنية بهذا أيضا . تكتسب الطحالب الحمراء المزرقة المسئولة أهمية خاصة فى المياه العذبة فهى المسئولة على سبيل المثال عن تكوين ترسبات كثيفة من الحجر الجيرى حول الينابيع والنافورات الحارة الطبيعية فى ايسلاندا وفى الصخور الصفراء فى الحديقة العامة . كما تكتسب الطحالب الحمراء اهمية خاصة لكونها أهم الطحالب البحرية بالنسبة لترسيب كربونات الكالسيوم ، فهى على وجه الخصوص تلعب دورا متميزا فى عملية تكوين الشعاب المرجانية Coral Reefs وجزره . على الرغم من أن التكوينات المرجانية الحقيقية تنشأ من فعاليات الحيوانات الدقيقة الرسوبية إلا أنه من المعروف عن الطحالب الحمراء التى تفرز ترسبات جيرية ربما تكتسب درجة من الأهمية فى هذا الشأن تزيد عن أهمية الكائنات المرجانية نفسها فى بناء الشعاب المرجانية . فالطحالب الحمراء المسماة بالكورالين Coralline التى تتمتع بخواص التطعيم او ترسيب القشور الصلدة (Encrustion) تربط المواد الهيكلية للحيوانات المرجانية بعضها ببعض ، وإن التكوين التكاملى بين هذه الحيوانات والطحالب هو المسئول عن بناء الحاجز المرجانى . ففى بعض الشعاب والجزر المرجانية الحلقية Atolls تكتسب الحيوانات المرجانية الأهمية الكبرى ، بينما فى غيرها التى يمكن تسميتها بالحواجز الطحلبية او الجزر الطحلبية تكون الطحالب الحمراء هى السائدة . تنمو الطحالب الحمراء التى ترسب كربونات الكالسيوم نموا جيدا فى مياه البحر الدافئة ، بينما هناك بعض الأنواع منها تزدهر فى المياه المعتدلة والمناطق القطبية . حيث تكون ضفافا ضخمة من الحجر الجيرى عند السواحل . لم تكتسب الطحالب أهميتها هذه فى عصرنا الحالى فقط بل لقد تعاظم دورها فى تكوين الترسبات الكلسية منذ فجر التاريخ . إذ لعبت دورا ملحوظا فى تكوين صخور الحجر الجيرى الرسوبية والتى بلغ سمكها حوالى 300 متر

منافع الطحالب الحمراء Uses of Red Algae

ربما تزيد استعمالات الطحالب الحمراء عما ذكرنا آنفا بالنسبة للبنية . بعض الطحالب الحمراء تعتبر من بين النباتات المهمة التى تستعمل كغذاء فى بعض البلدان الاسيوية ، حيث يجمعونها من الخلجان الهادئة والمستنقعات . كما تؤكل الطحالب الحمراء بنهم من قبل سكان السواحل الصخرية لاوروبا وشمال امريكا . فمن بين الاسماء العامة لأنواع الطحالب الحمراء المستخدمة غذاء ، أو فى أغراض أخرى هناك اللافر Laver ، والدلسى Dulse ، والحزازيات الارلندية Irish Moss او الكاراجين Carrageen (لوحة رقم ـ 10) . تتشابه الاستخدامات الصناعية للطحالب الحمراء مع الاستخدامات الصناعية للطحالب البنية . اذ يستعاض بها عن الجيلاتين الحيوانى فى انتاج بعض الاطعمة كالمهلبية ، وكعامل مساعد على التشكيل (للمنتجات الغذائية) ، وفى حشو الفطائر وفى انتاج المواد الحافظة وفى انتاج بعض أنواع الحلوى ومعجون الأسنان . وكمواد مالئة ومثبتة فى إنتاج المرطبات المثلجة وغيرذلك الكثير .

هناك استخدام هام للطحالب الحمراء يكمن فى انتاج الآجار Agar . وهو عبارة عن خلاصة جيلاتينية مبيضة وسجففة يتم الحصول عليها من العديد من انواع الطحالب الحمراء . أحد الاستخدامات للآجار هو ادخاله كمكون اساسى عند تحضير الاوساط الغذائية لنمو البكتريا والفطريات ومن هذا الاستخدام يعتبر الآجار من الخامات التى تستحيل المغالاة فى تقييمها بالنسبة لمختبرات أبحاث الاحياء الدقيقة ، بسبب عدم وجود مادة بديلة حتى الآن .

الخلاصة : Summary

1 ـ تعتبر الطحالب بوجه عام من النباتات ضوئية التغذية ، كما أن جسم النبات ثالوسى ويكثر وجودها فى البيئات المائية . تصنف الطحالب جنبا الى جنب مع البكتريا والفطريات فى مملكة فرعية واحدة تسمى بالمملكة الفرعية الثالوسية .

2 ـ تتكاثر الطحالب عادة جنسيا ولاجنسيا . يحدث التكاثر اللاجنسى عن طريق الانقسام الخلوى ، والانقسام بالتجزؤ ، وبتكوين السبورات اللاجنسية . أما التكاثر الجنسى فربما يكون بواسطة أمشاج متماثلة او امشاج غير متماثلة وربما يكون النوع الأخير قد نشأ عن الأول .

3 ـ يمكن تصنيف الطحالب فى سبعة أقسام . ومن بين السمات المميزة لهذه الاقسام وجود أنواع التصبغات وطبيعة الغذاء المخزون ، كذلك عدد الأسواط وأنواعها ومقدار ولوجها فى الخلية .

4 ـ تتضمن الاقسام المتعددة للطحالب السوطيات التى يكون اكثرها ضوئى التغذية بينما تحصل بعض الأنواع على غذائها محلولا عبر غشاء الخلية او تزدرده صلبا (phagotrophism) . وربما تحتاج الى الفيتامينات من مصادر خارجية .

5 ـ يجب الاهتمام بتصنيف الكائنات الحية الى نباتية وحيوانية وبروتيستا والأخيرة تضم السوطيات وكل الطحالب الاخرى والبكتريا والفطريات اللزجة Slime molds .

6 ـ تتمتع الطحالب الخضراء بأهمية قصوى من وجهة نظر تطور الأشكال الارقى لحياة النبات . إذ ربما تمثل السوطيات احادية الخلية أسلاف المستعمرات الشريطية واللاشريطية على حد سواء وربما توضح طحالب اليولوثركس الشريطية والاويد يجونيوم مراحل تطور التكاثر الجنسى والتمايز الجنسى .

7 ـ يعتبر الزيجوت فى غالبية انواع الطحالب الخضراء هو الخلية الوحيدة للطور ثنائى عدد الكرموسومات من دورة الحياة . وإذا ما انتج الزيجوت عند إنباته سبورات متحركة يمكن تسمية الاخيرة سبورات ، الانقسام الاختزالى ، تمييزا لها عن السبورات اللاجنسية .

8 ـ يحتمل نشوء تعاقب الاجيال أولا فى الطحالب . وربما يكون نشوء النباتات الأرضية من أصل الطحالب الخضراء ، حيث كان جيلا الطور المشيجى gametophyte والطور السبورى sporophyte مستقلين ومتماثلين فى الحجم .

9 ـ تعتبر اليوجلينيات من السوطيات ، لا يوجد فيها جدار خلوى وتضم اليوجلينيات أشكالا خضراء واخرى عديمة اللون ، ويكون من بين الأخيرة انواع تزدرد غذاءها صلبا .

10 ـ تعتبر الطحالب الخضراء المزرقة إما أحادية الخلية أو فى مستعمرات . لا يعرف من بينها ما يتكاثر جنسيا . لا توجد فيها البلاستيدات وتتصل الصبغات بصفائحها التى تسود الخلية . توجد مادة الـ DNA فى مجسمات ثلاثية الابعاد لا تحدها أغشية . لا يحدث فيها الانقسام الفتيلى وتخلو من الميتكوندريا .

11 ـ تعتبر الفوشيريا ذات المدامج الخلوية coencytic مثالا للكائن الحى الذى لا تتكون فيه جدران خلوية عقب عملية الانقسام الخلوى .

12 ـ تقع الطحالب فى القاعدة للدورات الغذائية المائية . ففى البحار تتألف هذه الطحالب اساسا من الدياتومات والدينوسوطيات وتعتبر الكوبيبودات حلقات هامة تربط بين العوالق النباتية Phytoplankton وبين الأشكال الارقى لحياة الحيوان . توجد فى الماء العذب أيضا دورات غذائية تتشابه عموما مع ما يحدث منها فى البحر .

13 ـ تتحمل الطحالب مسئولية خطيرة فى تدهور موارد المياه خصوصا عندما تتلوث الأخيرة بنفايات عضوية ولا عضوية . يسمى إغناء المياه بالمواد الغذائية بمصطلح الإغناء بالاغذية المعدنية والعضوية eutrophication

14 ـ تضم الطحالب البنية كلا من حشائش الصخور rockweeds وعنب البحر bladderwracks والسرجاسم sargassum وعشب البحر kelps . اما الفيوكس Fucus وهو من حشائش الصخور فمن النوع غير متماثل الأمشاج حيث تفرز كل من بيضه وسبرماته منطلقة فى الماء قبل الاخصاب . وينتمى جسم النبات فى الفيوكس إلى جيل الطور السبورى .

15 ـ للطحالب الحمراء والبنية منافع اقتصادية عديدة . ومن بين منتجاتهما الآجار ومواد الحشو والتثبيت .

البكتريا والفيروسات وبعض علاقاتها بالا نسان

Bacteria and Viruses and some Relations to Man


20

البكتريا والفيروسات وبعض علاقاتها بالانسان
Bacteria and Viruses and some Relations to Man

تصنف الكائنات الحية احيانا، وذلك بغرض التسهيل ، الى فوق المجهرية macroscopic والمجهرية Microscopic، (Microorganisms) والاخيرة هى من الصغر بمكان بحيث لايمكن رؤيتها بالعين المجردة. ويشمل هذا التصنيف أعدادا هائلة من اشكال الحياة غير المترابطة، تختلف كثيرا عن بعضها فى الشكل ودورات الحياة وطرق المعيشة. هناك العديد من انواع الطحالب وبعض الفطريات تدخل ضمن الاحياء المجهرية مثلها فى ذلك مثل البروتوزوا ـ protozoa والبكتريا والفيروسات، هذا رغما عن ان الاخيرة يحتمل الا تكون كما سنوضح فيما بعد من الكائنات الحية، وفى حين أن هناك فروقا بين الاحياء المجهرية، الا أن التقنيات المتعددة المستخدمة فى دراستها تتشابه الى حد كبير. ومن هذا المنطلق ولاسباب عديدة اخرى، جمعت هذه الاحياء الدقيقة microbiology. لقد استعرضنا من بين هذه الكائنات الدقيقة بعض الامثلة، تلك التى صنفت من الطحالب، وسوف نتعرض لدراسة الفطريات فى الفصل اللاحق من هذا الكتاب. وبذا نفرد هذا الفصل لدراسة نتناول فيها كلا من البكتريا والفيروسات.

البكتريا: The Bacteria

تؤثر البكتريا فى حياة الانسان بطرق متعددة يصعب حصرها. ولكون البكتريا تسبب اصابة الانسان بالامراض المعدية infectious diseases لذا زاد كثيرا حصادها من الأرواح عما سببته كل الحروب من الضحايا. ويعتبر عدد أنواع البكتريا المسببة للامراض pathogenic اقل بكثير من عدد أنواع البكتريا التى لاتسبب أمراضا، والتى تلعب دورا مفيدا فى اقتصاديات الطبيعة. فعلى سبيل المثال اذا لم يكن لموتى النباتات ولرمم الحيوانات ان تختزل الى مركبات بسيطة من خلال نشاطات البكتريا، والاحياء الدقيقة الاخرى فستصبح العناصر الضرورية لحياة النبات والحيوان حبيسة فى أسر المركبات ولايبقى منها شىء للاجيال القادمة.

ترقى اكتشافات طبيعة البكتريا والتعرف على نشاطاتها الى مصاف أعظم الانجازات العلمية التى تمخض عنها العصر الحديث. لقد شخص باستير Pasteur وغيره من العلماء البكتريا كمسبب لعمليات التخمر fermentation ولبعض الامراض، وأرست هذه المعلومة دعائم الجراحة المعقمة aseptic surgery من أجل التحكم فى الاوبئة، وأطلقت اشارة البدء فى تحسين عمليات الحجر الصحى quarantine، واصبحت علامة هامة على طريق تحديث طرائق التخلص من مياه المجارى sewage disposal،

وعمليات تنقية موارد المياه، واجراءات زيادة نقاء الحليب وغيره من الاغذية وطرائق حفظها لمدد أطول. كما أتاحت دراسات البكتريا ايضا إمكانية استغلالها فى الاغراض الصناعية والزراعية. وتلعب البكتريا درواً هاماً فى حياتنا اليومية، من جوانب عديدة تزيد كثيرا عما يتوقعه المرء، ولكن يتطلب فهم النشاطات المتعددة للبكتريا دراسة بعض المعلومات عن تركيب وفسيولوجية البكتريا نفسها.

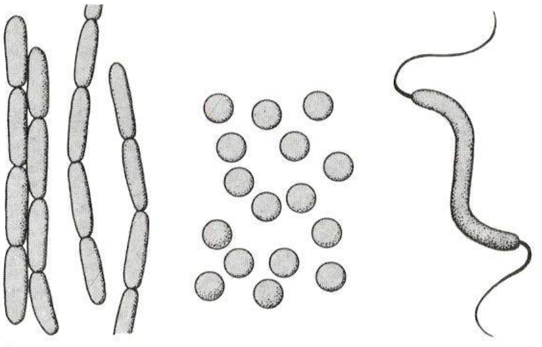
تصنيف البكتريا: The Classification of Bacteria

ما إن اكتشفت البكتريا من قبل انطون فان لوين هوك Anton van leeuwenhoek عام 1676، حتى قامت العديد من المحاولات لتصنيفها. كان الكثير من الباحثين يعتبر البكتريا من المملكة الحيوانية، واستمرت وجهة النظر هذه حتى أواسط القرن التاسع عشر، وبعدها شاع اعتبار البكتريا أقرب الى النباتات منها الى الحيوانات، وحتى الان لم تتضح بعد العلاقات التطورية التى تربطها بالكائنات الحية الاخرى. ولقد تسبب هذا الوضع فى وجود وجهات نظر مختلفة بين أوساط الاختصاصيين والدارسين لهذه الاشكال الدقيقة من الاحياء. اذ يضعها بعضهم ضمن البروتستا، تلك المجموعة من الكائنات الحية البسيطة التركيب، والتى يتعذر تصنيفها من بين النباتات او الحيوانات على حد سواء (فصل 19). ويصنفها آخرون ضمن المملكة النباتية اعتمادا على تشابهها مع النباتات اكثر من الحيوانات فى أغلب صورها التركيبية. فأغلب البكتريا الحقيقية لها جدران خلوية صلبة، على عكس الاغشية المرنة التى تحيط بالخلايا الحيوانية. كما تتناول البكتريا غذاءها فى صورة محاليل فقط من خلال جدران الخلية، بينما تتميز الحيوانات بتناولها الغذاء بصورته الصلبة، ومن ثم تعكف على هضمه بعمليات تتم داخل أجسامها. ويعتقد بعض المؤلفين بترابط البكتريا مع الفطريات. بسبب افتقار النوعين للكلوروفيل، وبسبب وجود عدد من الانواع من كائنات حية انتقالية، بين البكتريا والفطريات يصنف هذا الكتاب البكتريا ضمن المملكة النباتية اذ يضعها فى فصيلة رئيسية من فصائل قسم الانشطاريات Schizophyta، وتشارك الفطريات التسمية باالوسيات Thallophyta.

البكتريا حجمها وشكلها: Size and Form

تدخل البكتريا فى عداد اصغر الكائنات الحية، ففى الحقيقة يبلغ من صغر حجمها أن تقاس بأصغر وحدات القياس فى المجهر الضوئى ونعنى به الميكرون. يبلغ قطر البكتريا الكروية حوالى الميكرون الواحد. بينما تتراوح الاشكال القضبية (العصوية) منها بين 0.2 و 2 ميكرون عرضاً وبين 0.3 و 10 ميكرونات طولا. وربما يلزم رص اكثر من ألف من افراد اكبر انواع البكتريا، او من 10000 الى 50000 من الانواع المتوسطة حجما على طول أطرافها والواحدة تلو الاخرى لكى نصل الى طول البوصة (25 مم). وقد تحتوى نقطة السائل الواحدة على مايقارب الـ 000 50،000 مليون من البكتريا. أغلب أنواع البكتريا لاتكاد ترى الا تحت التكبير العالى للمجهر العادى (أى حوالى 400 مرة)، لذا كثيرا مايتطلب أمر دراستها تكبيرا أعلى) ممايضطرنا الى استخدام المجهر الالكترونى للكشف عن خبايا تركيبها تفصيليا.

تنتمى البكتريا الحقيقية الى احد الانواع الثلاثة، اعتمادا على شكلها (شكل 20 ـ1). غالبيتها عصوية الشكل rod shaped، وهى ماتسمى بالباسيلس Bacillus وجمعها باسيلى Bacilli. والمجموعة الثانية الاكثر عددا هى الكروية Coccus والجمع كروى Cocci وهى كروية الشكل. والمجموعة الاخيرة والاقل عددا (اذ لايزيد عدد أنواعها عن المائة) تسمى اللولبية Spirillum وجمعها لولبى Spirilla وهى حلزونية الشكل تشبه فتاحة السدادات الفلينية.

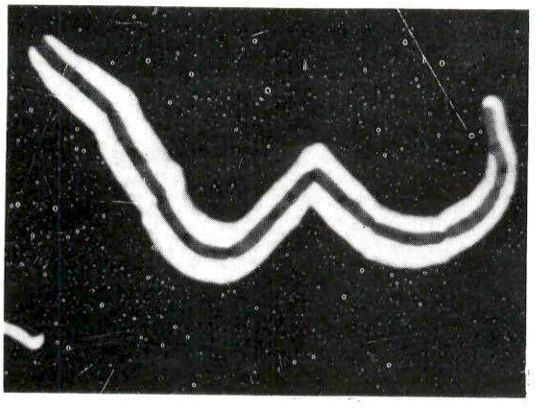


شكل (20 ـ 1) الأشكال الرئيسية للبكتريا. (إلى اليسار) القضيبية (الوسط) الكروية ، (اليمين) الحلزونية .

تركيب الخلية: Cell Structure

تتسم البكتريا بأنها أحياء وحيدة الخلية. وتتألف خليتها من جدار خلوى صلب ومتعدد الطبقات، وسيتوبلازم يحوى مادة وراثية hereditary material. وتتشابه البكتريا مع الطحالب الخضراء المزرقة فى وفرة وجود الريبوسومات ولكنها تخلو من الميتوكوندريا. وعلى الارجح يكون موضع عملية التنفس فى الغشاء البلازمى وبهذا يتشابه الاخير وظيفيا مع الاغشية الداخلية للميتوكوندريا. ربما يوجد الغذاء والصبغات المخزونة فى داخل الخلية. ويعتبر الجدار الخلوى معقدا كيميائيا اذ يحوى احماضا أمينية amino acids وسكريات sugars وغير ذلك من المواد الاخرى والتى تتضمن ايضا بعض انواع الدهنيات (اشباه الدهون) lipids لايوجد السليولوز cellulose فى جدار الخلية البكتيرية. ويمكن الكشف عن وجود جدار الخلية بواسطة التصبيغ، وبالمجهر الالكترونى، وباختبارات البلزمة plasmolysis يمكن فى بعض الانواع هضم digestion جدار الخلية باستخدام الانزيمات enzymes.

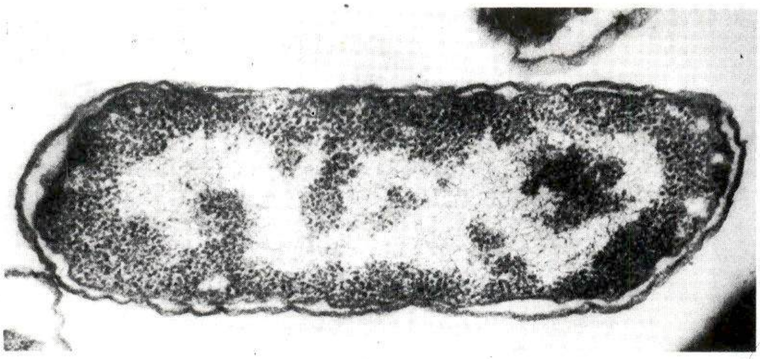
والكثير من البكتريا تفرز خارج الخلية مادة جيلاتينية لزجة تسمى بالمخاط slime، تتكون فى العادة من متعدد السكريات polysoccharides مع مواد مصاحبة اخرى احيانا. ربما يكون المخاط قليل الالتصاق او منتشرا يميل الى الانتشار فى البيئة المحيطة، ويسمى فى هذه الحالة بالمخاط السائب (المفكك) Lose slime. ولكن غالبا مايتراكم المخاط فى طبقة ظاهرة حول جدار الخلية وتلتصق بها، ويقال عن الخلية فى هذه الحالة انها تملك كبسولة مخاطية (شكل 20ـ2) ويحمى المخاط، سواء أكان كبسولة capsule او مفككا، الخلية لدرجة ما من عوامل البيئة المحيطة غير المناسبة. ويكون الكثير من انواع البكتريا كبسولات. وتقوم علاقة بين بعض انواع البكتريا المسببة للامراض وبين وجود الكبسولة وشدة العدوى (التسمم) Virulenca بالبكتريا. اذ ربما تنجو البكتريا المكبسلة من تأثير دمار خلايا الدم البيضاء والتى غالبا ماتبتلع وتهضم البكتريا. ان سلالات البكتريا الكروية (Diplococcus pneumoniae) التى تسبب الاصابة بالالتهاب الرئوى pneumonia هى من النوع المغلف بكبسولات. لذا تكون هذه السلالات مسببة



شكل (20 ـ 2) كبسولة بكتيرية (Bacillus megaterium)
(تكبير 950 مرة) .

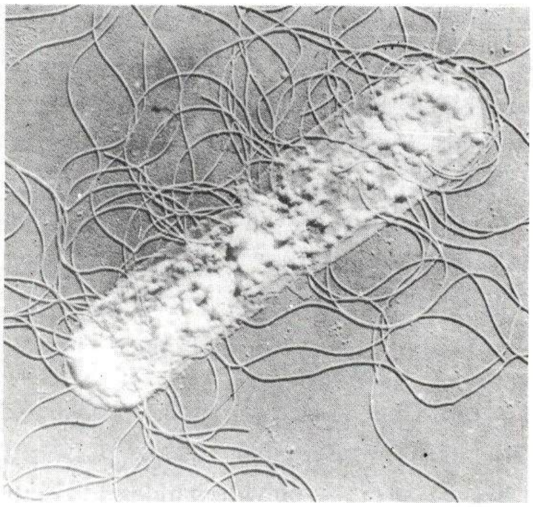
لعدوى الأمراض بينما طفراتها السلالية التى تفتقر الى الكبسولات لاتسبب العدوى.

ولقد تعرضت طبيعة المادة الوراثية فى البكتريا للدراسات المكثفة، وخاصة باستعمال المجهر الالكترونى، وكما فى الطحالب الخضراء المزرقة يتركز كل او جل مادة الـ DNA فى الخلية ضمن جسم نووى nuclear body ثلاثى الأبعاد، ممتد خلال الخلية (شكل 20ـ3) ويكون هذا هو المكافىء الوراثى equivalent genetic للنواة فى الكائنات الحية الاخرى. ومع ذلك وكما فى الطحالب الخضراء المزرقة يكون الجسم النووى غير مفصول عن السيتوبلازم بغشاء لذا لايحدث الانقسام الفتيلى mitosis. وربما تحتوى الخلية البكتيرية على واحد او اثنين او ربما اكثر، من هذه الاجسام غير المنتظمة شكلا حيث تنقسم فى بعض مراحل النمو بمعدل سريع بدرجة لايوجد معها مجال لتكوين جدران فاصلة بينهما، ولهذا السبب تصبح الخلية متعددة الانوية. وعلينا هنا ان نتذكر ان الخلية من النوع المذكور أعلاه، حيث لايحدث فيها الانقسام الفتيلى ولاتتكون الميتوكوندريا وحيث لاتحيط عضياتها organelles أغشية، يطلق عليها اسم الخلايا البروكاريوتية procaryotic (فصل 19) . ولقد كشف التعاون بين الدراسات الوراثية والفيزيائية عن ان الجسم النووى يتكون من الـ DNA الذى يتخذ شكل خيطين طويلين مزدوجين شديدى الالتفاف على بعضهما



شكل (20 ـ 3)

صورة بالمجهر الالكترونى لقطاع فى خلية بكتيرية (Hemophilus influenzae) لاحظ جدار الخلية والغشاء البلازمى والجسم النووى المركزى وغير المنتظم الشكل ، الذى يتألف من شعيرات الـ DNA . أما المادة الحبيبية الداكنة والموجودة خارج الجسم النووى فتتألف من الريبوسومات (التكبير 35300 مرة) .



شكل (20 ـ 4)

أسواط بكتريا الـ (Proteus vulgaris) . وهى من الرميات الموجودة أساسا فى المواد المتفسخة (صورة بالمجهر الالكترونى بتكبير 3400 مرة) .

ويبلغ طولهما 1000 ميكرون . وينغلق الفرعان على نفسيهما من طرفيهما مكونين حلقة. وسوف نشير الى الجزىء الكبير macromolecule لمادة ألـ DAN للتسهيل باسم الكروموسوم chromosome، غير أنه لايوجد متحدا مع البروتين protein مثلما يتميز الكروموسوم الحقيقى. يستنسخ جزىء الـ DNA نفسه ليتوزع بين الخلايا الناتجة من الانقسام.

الحركة: Motility

يكون العديد من أنواع البكتريا قادرا على الحركة، كما يظهر هذا تحت المجهر بجلاء. وتكتسب البكتريا قدرتها على الحركة من جراء تزودها بأسواط شبه شعرية (شكل 20ـ4) تتألف كليا من البروتين، الذى يختلف فى تركيبه عن بروتين السيتوبلازم، وتنشأ هذه الاسواط من الغشاء البلازمى وليس من جدار الخلية، ويمكن مشاهدة هذه الاسواط تحت المجهر الضوئى بشرط استخدام التكبير العالى واستخدام طرائق خاصة للتصبيغ. وتختلف الاسواط فى عددها وتوزيعها باختلاف أنواع البكتريا، فلبعض أنواع البكتريا سوط طرفى وحيد، بينما للانواع الاخرى سوط واحد او مجموعة اسواط عند احد اطراف الخلية او كلا الطرفين. وهناك انواع تحاط تماما بالاسواط طرفيا وجانبيا كما فى الشكل (20ـ4) ان أغلب انواع البكتريا المتحركة اما ان تكون عصوية او حلزونية وفى العادة تكون البكتريا الكروية غير متحركة.

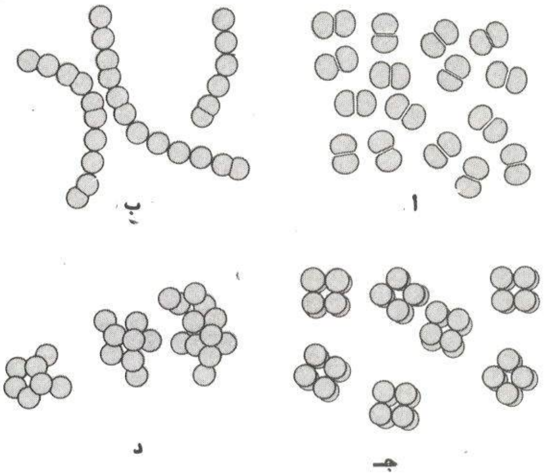
التكاثر: Reproduction

التكاثر الخضرى هو الطريقة الشائعة فى تكاثر البكتريا، ويتم ذلك بواسطة الانشطار العرضى transverese Fission ومن هنا جاء اسم النباتات الانشطارية Z hizophyta (fission plants). وتنقسم الخلية الى نصفين متساويين بواسطة نمو داخلى يأخذ شكل الحلقة.

كما فى الطحالب الخضراء المزرقة، قد تنفصل الخليتان البنويتان daughter cells مباشرة وقد تبقيان ملتصقتين مكونتين سلاسل او كتلا خلوية.

سرعان ماتتضخم كل خلية بنوية، ومن ثم تبدأ بانقسام جديد، وفى ظل الظروف المناسبة تنقسم انواع من البكتريا بسرعة تصل الى مرة واحدة كل 20 دقيقة وبمعدل الانقسام هذا تتمكن الخلية الواحدة من ان تعطى مايقرب من 70 بليون خلية كل 12 ساعة. ومن الجهة النظرية تتمكن خلية الكوليرا cholera bacterium خلال 24 ساعة من انتاج احفاد يبلغ اجمالى وزنها 2000 طن، ولكن معدل الانقسام هذا لايمكن المحافظة عليه الا لفترة وجيزة فنفاد المواد الغذائية والماء والاوكسجين (للهوئيات aerobes) وتراكم نواتج النفايات السامة toxic waste products وتغيرات نسبة الرقم الهيدروجينى (ph) فى البيئة المحيطة ، تحد كلها بقوة بالغة من نسل البكتريا.

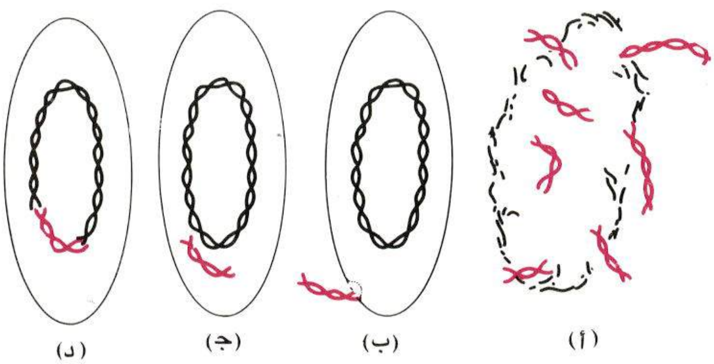
عندما تتلاصق adhere البكتريا معا بعد الانقسام، يعتمد ترتيبها على المستوى الجارى فيه انقسام الخلايا ففى البكتريا العصوية. bacilli يكون مستوى الانقسام متعامدا دوما مع المحور الطولى للخلية، ومن هنا تكون الخلايا البنوية سلسلة اذا مابقيت متلاصقة باطرافها بعد الانقسام، ومن ناحية اخرى تنقسم البكتريا الكروية cocci فى مستوى او اكثر حسب النوع، ومن هنا تتعدد تراتيب الخلايا الناتجة (شكل 20 ـ 5) وعلى سبيل المثال تنقسم بكتريا الستريبتوكروية streptococci فى مستوى واحد فقط وتكون مستويات الانقسام متوازية، وتبقى الخلايا معا فى سلاسل، اما بكتريا الستافيلو ـ كروية staphylococci (والبكتريا الكروية الدقيقة micrococci الشديدة العلاقة) فتنقسم فى مستويين او اكثر بحيث ينتج عن ذلك صفائح مفلطحة او كتل سائبة مفككة مكونة مايشبه عنقود العنب، اما البكتريا الدبلوكروية diplococci فتنقسم مكونة مجموعات من خليتين او مضاعفاتهما، وتنقسم بكتريا السرسينيا Sarcinae فى مستويات ثلاثة، وبذا تنتج مكعبات او حزما تكعيبية، فى كل حزمة ثمانى خلايا او مضاعفاتها. تنمو البكتريا الحلزونية spirilla عادة كخلايا منفردة، ونادرا ماتشكل سلاسل قصيرة.



شكل (20 ـ 5) التجمعات الخلوية فى أنواع البكتريا الكروية.
أ ـ الكروية الأزدواجية diplococci
ب ـ ستربتوكروية streptococci
جـ ـ بكتريا السرسناى (الرباعية) sarcinae
د ـ البكتريا الستافيلوكروية staphylococci

اعادة ترتيب جينات كروموسومات البكتريا: Recombination in Bacteria

تحدث اعادة ترتيب الجينات عن طريق التكاثر الجنسى، الذى يتضمن كما بينا سابقا ، كلا من (1) اندماج نواتين احاديتى المجموعة الكروموسومية، مكونتين نواة ثنائية المجموعة الكروموسومية تحتوى على كل جينات الابوين، (2) الانقسام الاختزالى، ان اعادة الترتيب كنتيجة للعملية الجنسية يجب ان يصطلح عليه باعادة الترتيب الوراثى الجنسى Sexual genetic recombination غير ان اعادة الترتيب هذه تعنى بمفهومها الواسع اية اعادة ترتيب تحدث للمادة الوراثية، ويمكن ايضا ان تحدث بواسطة آليات اخرى توجد فى البكتريا وتصنف كالاتى: (1) آلية النقل transformation (2) آلية التزاوج conjugation (3) آلية التحول transduction، تنفرد البكتريا بحدوث النوعين الاولين فيها وسنناقشهما فيما يلى. اما النوع الثالث فيحدث



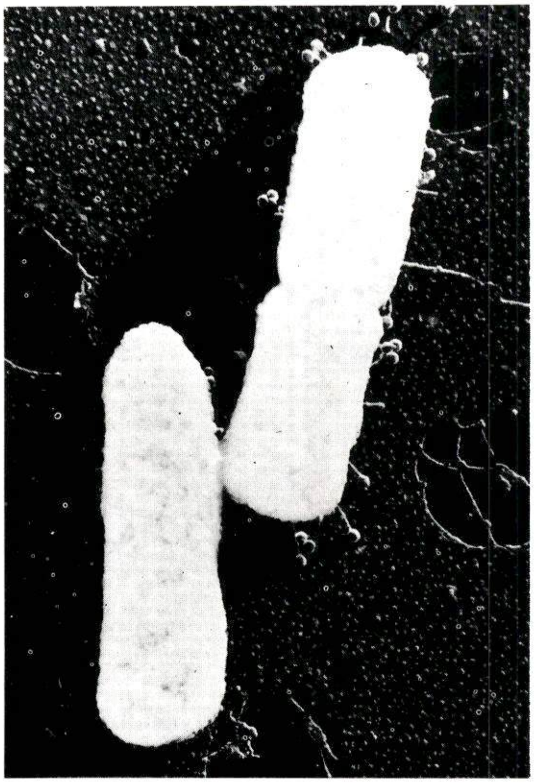
شكل (20 ـ 6)

النقل فى البكتريا (أ) تحرر الـ DNA (الملون) من الخلية المانحة . (ب) حصول الخلية المستلمة على الـ DNA . (جـ) ازدواج DNA الخلية المانحة مع المنطقة المناظرة من جزىء الـ DNA للخلية المستلمة . (د) إحلال جينات الخلية المانحة محل جينات الخلية المستلمة .

فى بعض انواع الفيروسات علاوة على حدوثه فى البكتريا، لذا سوف نناقشه فيما بعد عند التعرض للفيروسات . فى كل الآليات المذكورة اعلاه تنتقل المادة الوراثية من الخلية المانحة donor cell الي خلية مستلمة recipient، ولكن فى العادة لاينتقل من المادة الوراثية الا جزء منها فقط، وبذا تكون الخلية المستلمة غير مكتملة من جهة ثنائية عدد كروموسوماتها incompletly dibloid ولهذا السبب، ولعدم معرفة وقوع الانقسام الاختزالى، لايصح القول ان البكتريا تتكاثر جنسيا.

النقل: *Transformation* لقد اكتسب اكتشاف هذه العملية بواسطة عالم البكتريا الانجليزى عام 1928 اهمية كبرى، ليس فقط بسبب انها قد اوضحت امكانية انتقال العوامل الوراثية من احد افراد البكتريا الى الاخر ولكن ايضا بسبب انها قد وضعت الاساس فى تحديد هوية الـ DAN كمادة وراثية، فعندما حقنت الفئران بمزرعة من بكتريا الالتهاب الرئوى الكروية غير المكبسلة Living noncapsulating pneumococci (avirulent) او بنفس البكتريا السابقة والمقتولة بالحرارة والمكبسلة والمعلقة فى سائل heat – killed suspension of capsulated)virulent(pneumococci لم تحدث اية اصابة، ولكن عندما حقن فأر بخليط من البكتريا الحية وغير المكبسلة وكائنات قتلت بالحرارة، مات الفأر بالالتهاب الرئوى، وتحصلنا على بكتريا حية ومكبسلة من نفس النوع حوتها الجثة. ويبدو انه توجد آلية نقل ماتضمنتها بكتريا الالتهاب الرئوى التى قتلت بالحرارة قد تمكنت مع ذلك من تحويل الكائنات غير المكبسلة، والتى قد فقدت مقدرتها على انتاج كبسولة الى اشكال قادرة على تخليق الكبسولات، وبذا صارت مكبسلة. شخص الباحثون عام 1944 فى معهد روكفلر (الذى اصبح جامعة فيما بعد) هذه المادة الناقلة على انها الـ—DNA وكان هذا الكشف علامة على طريق تاريخ علم الوراثة ففى هذا اول دليل على امتلاك الـ DNA للمعلومات الوراثية وعلى مقدرته على نقلها.

لقد اكدت كل الابحاث التى جرت منذ عام 1945 صحة هذا الاكتشاف، كما بينت ان النقل الوراثى يزداد تعقيدا فى البكتريا ويتم على مراحل عدة. ومن الواضح تماما انه لايلزم ان تتلامس الخليتان المانحة والمستلمة لاتمام عملية النقل. يوجد العديد من الادلة على صحة المبدأ المبسط التالى. الشظايا fragments الثنائية الاشرطة من الـ DNA، الذى يمثل كل منها من $\frac{1}{100}$ - $\frac{2}{100}$ من كروموسومات البكتريا، تتحرر نتيجة لتحطم الخلية المانحة (شكل 20 ـ 6) وهذه الشظايا التى تحتوى على واحد او اكثر من الجينات تقتحم الخلية المستلمة من مواقع دخول خاصة. وبعد دخولها تحتل شظايا الـ DNA المانحة مناطق مماثلة لمناطقها ضمن DNA المستلم، وبهذا تحدث اعادة ترتيب جينات الكروموسومات ومن هنا يتضح لنا ان الخلية المستلمة وغير المكبسلة والتى قد فقدت قدرتها على تكوين كبسولة من جراء مرورها بطفرة mutation.، تتطلب الآن الحصول على جين بواسطة النقل، لقد وجدت هذه الآلية الان فى حوالى 20 نوعا من البكتريا تمثل مايقرب من العشرة اجناس وتتضمن بعض البكتريا التى تسبب امراضا لبعض النباتات، ولقد كشفت الابحاث ان بعض الجينات المختلفة يمكن نقلها.



شكل (20 ـ 7) صورة بالمجهر الالكترونى لبكتريا القولون العصوية ، أثناء عملية التزاوج . تكون الخلية المستلمة (إلى اليمين) ، حساسة تجاه البكتريوفاجات (phages) الملاصقة التى لا تعانى الخلية المانحة (إلى اليسار) من حساسية إتجاهها

يعتقد بعبور المادة الجينية من خلال أنبوبة تقع فى موضع التصاق الخليتين . (تكبير 22000 مرة)

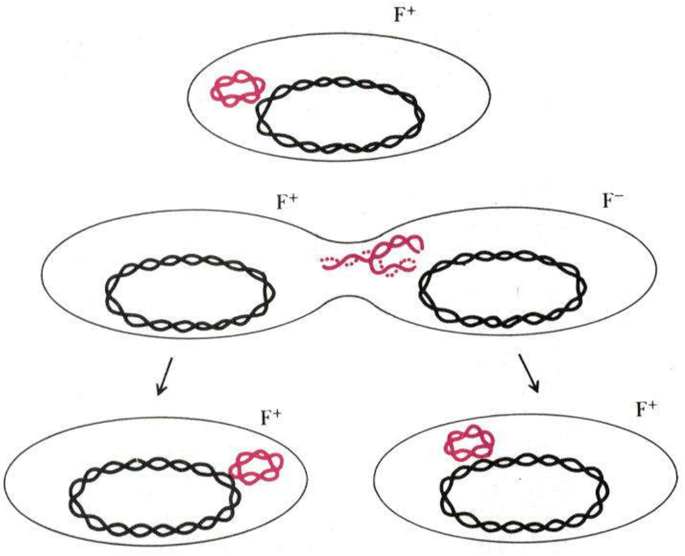
التزاوج *Conjugation*

لقد وجد فى بكتريا القولون colon baccillus سلالات طفرية mutant تختلف تماما فى قابليتها لتخليق عوامل نمو معينة. استعملت سلالتان منها فى اختبارات حاسمة، فلم تكن السلالة (أ) تقدر على تخليق الحامضين الامينيين، الثريونين threonine والليوسين leucine ولا على تخليق فيتامين الثيامين thiamine وفقدت السلالة (ب) القدرة على تخليق الحامضين الامينيين الفنيلانلين phenylanaline والسيستين cystine وكذلك فيتامين البيوتين biotin ولكن عندما نميت اعداد كبيرة من السلالتين معا فى وسط ادنى minimum medium (لايحتوى على اى من عوامل النمو الستة المذكورة)، وجد ان بعض الخلايا قد استطاعت النمو، وكما هو واضح فان اعادة ترتيب جينات الكروموسومات، تحمل صفات الابوين معا، لقد اظهرت متابعة الدراسة ان التلامس المادى ضرورى الحدوث بين السلالتين الابويتين وان المادة الوراثية تنتقل من الخلية المانحة الى المستلمة عبر جسر سيتوبلازمى cytoplasmic bridge، ربما يكون انبوبا يصل بين الخليتين (شكل 20 ـ 7) وتعرف هذه العملية بإسم التزاوج.

تتعقد كثيرا مظاهر التزاوج، لذا نتعرض هنا للموضوع بصورة عامة فقط، من السمات الباهرة حقا فى الموضوع وجود جسيم للـ DNA يسمى بالابيسوم episome، هذا علاوة على الكروموسوم البكتيرى الاعتيادى normal bacterial chromosome، والابيسومات التى تشبه خيوطا متناهية القصر من الـ DNA ربما توجد باحدى الحالتين التبادليتين التاليتين: (1) ابيسومات طليقة فى السيتوبلازم تستنسخ بمستقلة عن كروموسوم الـ DNA ، او (2) ابيسومات توجد كوحدات متكاملة مع الكروموسوم الاعتيادى مكونة جزءا لايتجزأ منه، لاتتمتع كل خلايا البكتريا بوجود الابيسومات ، ولاتضر بالخلية ان وجدت.

يحمل الابيسوم، مثله مثل الكروموسوم، مجموعة جينات يتحكم بعضها فى عملية التزاوج ولهذا السبب يسمى الابيسوم بعامل الاخصاب fertility factor، ويرمز له بالرمز (F) ولذلك تكون الخلايا التى تملك العامل (F) من الخلايا المانحة، ويرمز لها بالرمز (F^+) بينما الخلايا المستلمة والمفتقرة للابيسوم يرمز لها بالرمز (F^-) (شكل 20 ـ 8) اثناء التزاوج ربما يحدث واحد من الحدثين التاليين:

1 ـ اذا كان العامل (F) حرا فى السيتوبلازم، يتضاعف وحده. ومن ثم تمر احد جسيمات الابيسوم البنوية من الخلية المانحة الى المستلمة، ثم تتحول الاخيرة الى خلية مانحة (F^+) (شكل 20 ـ 8) تحمل بعض الابيسومات، علاوة على عامل الاخصاب ، جينات تتحكم فى مقاومة البكتريا



شكل (20 ـ 8)

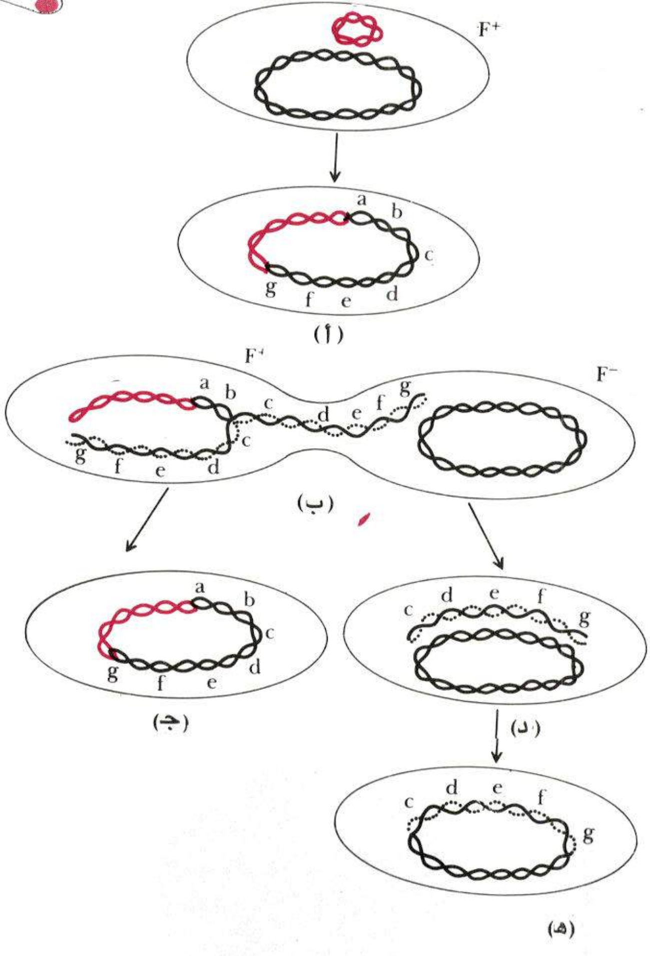
التزاوج : يتعرض الابسوم وحده للانتقال توضح الصورة التزاوج بين خلية تحمل العامل (+ F) كابسوم (ملون) وخلية تحمل العامل (F) . انظر باقى الشرح فى النص .

لبعض انواع المضادات الحيوية antibiotics وعقاقير السلفاsulfa drugs. ويحدث اثناء التزاوج ان تنتقل هذه الجينات مصاحبة للابيسوم الى الخلايا المستلمة، محولة اياها الى خلايا مانحة ومقاومة للعقاقير فى نفس الوقت، وهكذا خلال عدة دورات لمثل هذا التزاوج يمكن تحويل عدد متكامل من افراد البكتريا الى جيل يقاوم العقاقير بعد ان كان حساسا لمقاومتها، وفى هذا تفسير لضرورة عدم المغالاة فى اللجوء الى المضادات الحيوية، بسبب ان ذلك يضفى جوا مشجعا لانتشار الابيسومات الحاملة لصفة مقاومة العقاقير الامر الذى يؤدى الى ان تفقد المضادات الحيوية فعاليتها فى التصدى للمرض وايقافه.

2 ـ اذا كان الابيسوم جزءا لايتجزأ من كروموسوم البكتريا فانه يحدث استنساخ لـ DNA البكتريا . ينتقل جزء من احد الجزيئات البنوية (ونادرا ماينتقل الجزىء بكامله) الى الخلية المستلمة (شكل 20 ـ 9) ويبقى الكروموسوم البنوى الاخر فى الخلية المانحة، والتى لم تتعرض للتغيير، لذا يمكن ان تنقسم حسب الطريقة العادية، اما الجينات التى انتقلت الى الخلية مستلمة فتتزاوج مع الجينات المماثلة، كما فى حالة الانتقال تحدث اعادة ترتيب الجينات بواسطة التكامل.

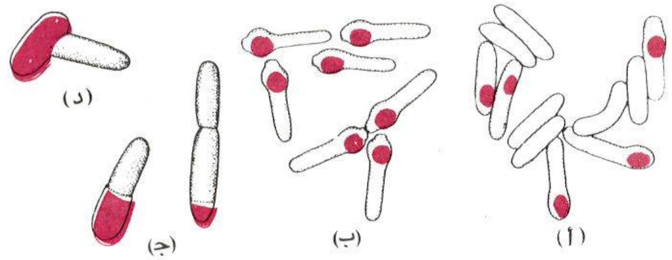
تكوين السبور: Spore Formation

تكون بعض انواع البكتريا، وفى ظل ظروف بيئية معينة سبورات ساكنة (تسمى ايضا السبور الداخلى endospore). وفى العادة يتكون سبور واحد فى الخلية اما فى وسطها او بالقرب من احد طرفيها. يقل قطر السبور فى غالبية انواع البكتريا عن قطر الخلية الام (شكل 20 ـ 10 أ) ولكن قطر السبور يزيد فى بعض الانواع عن قطر الخلية الام مما يسبب تورمها (شكل 20 ـ 10 ب) ويصبح السبور محاطا بغلاف سبورى سميك ، ويبقى داخل الخلية الام الى ان يتحرر بتحلل جدار الخلية، وتحت الظروف البيئية المواتية، يمتص السبور الماء ومن ثم يتهتك غلافه، ثم تظهر الخلية النامية (شكل 20 ـ 10 جـ) يكون المحتوى المائى للسبور منخفضا، ولايتم فيه من التحولات الغذائية الا القليل very low metabolic activity ، كما يكون مقاوما للحرارة وللمطهرات Disinfectants، والتجفيف desiccation ، وغير ذلك من العوامل البيئية الاخرى، يحدث تكون السبورات فى البكتريا العضوية فى الغالب بصورة مطلقة. تصبح قدرة البكتريا على تكوين سبورات من السمات الهامة، ليس فقط بالنسبة لهذه الكائنات ولكن للانسان ايضا، كما سوف نوضحه فى الفقرات التالية.



شكل (20 ـ 9)

التزاوج : جـزء من كرومـوسوم بنـوى يتعرض للنقـل .
التـزاوج بين خليـة تحمل العـامل (F⁺) المتكـامـل مـع الكروموسوم البكتيرى ، وبين خلية مستلمة (F⁻) .
أ ـ تكامل ابسوم فى الكروموسوم البكترى .
ب ـ استنساخ ونقل DNA الخلية الحاملة .
جـ ـ الخلية التى كانت مانحة .
د ـ تكامل DNA الخلية المانحـة فى كرومـوسوم الخليـة المستلمة .



شكل (20 ـ 10) سبورات بكتيرية وانبات السبور .
أ ـ خلايا تسمم الطعام وسبوراتها
ب ـ سبورات التيتانوس .
جـ ـ ود ـ انبات السبورات

لايعتبر تكوين السبورات فى البكتريا طريقة للتكاثر، كما يتصور البعض، ولكنــه ربما يعتبر تحـــورا يحــدث فى الخليـة الخضــرية ويكسبهـا المقدرة علـى الحيـاة فى ظـل الظروف غير المناسبة ، وبهذا تختلف السبورات البكتـيرية عن سبـورات التكاثـر الحقيقية فى كـل من الطحالب والفطـريـات وغيرها من النباتات حاملة السبورات .

تواجد البكتريا : Occurrence of Bacteria

ربما تتواجد البكتريا فى أية بيئة محيطة تقـوم فيها حيـاة . اذ توجد البكتريا فى التربة مثلا باعداد تتراوح بين 10 ملايـين و 5 مليارات فى كل غرام اعتمادا على المادة العضوية فى التـربة ورطوبتها ودرجة حرارتها ، كما تتواجد البكتريا ايضا فى المياه العذبة والمالحة على حد سـواء ، وفى الهواء طليقـة او مرتبطـة بدقائق الغبار . فالبكتـريا المحمـولة جـوا وسبورات الخمـائر والعفن تنثرها الرياح فوق الارض وبذا تتـواجد حتى فى هـواء كل من القطبين الشمالى والجنوبى على الرغم من ضآلة عـددها بجانب تواجدها فى اجواء المناطق الاستوائية والمعتدلة .

تلازم البكتريا جسم الانسان دوما ملازمـة ظله ، اذ تـوجد على سطح جلده ولكن تعدادها يزداد بدرجة ملحوظة فى ممرات التنفس «كـالحنجرة والقنـاة الهضمية alimentary canal . لقد قدر ان ما يتراوح بين الربع والثلث من حجم المادة الجـافة لبراز feces الانسان يكون من البكتريا واغلب هذه من النـوع غير الضار الا ان مادة المجارى حتى من الاشخـاص الاصحاء تحتـوى فى العادة عـلى بكتريـا وفـيروسـات مسببـة للعدوى بالامراض فى بيئات غير قنـاة الامعاء . وعـلاوة على ذلـك ربما تحتوى المجارى على كائنات حية تسبب الـزحار (الـنزنتاريـا)

الباسيلى Baciliary dysentery وغيره من الامراض المعوية . ولذلك يتوجب معالجة مياه المجارى لتحطيم او ازالة بكتريا العدوى والتى يمكن لها ان تلوث مصادر المياه المستخدمة فى الشرب والسباحة او حتى فى اغراض الغسيل . وبسبب احتمال عدم تمكن هذه المعالجات من القضاء على كل الكائنات الحية الصغيرة المسببة للامراض ، تتبقى خطوة اخيرة هى غلى الماء ، الا اذا كان مصدر الماء محميا تماما من التلوث .

كما ان البكتريا التى توجد فى الاطعمة وخصوصا الحليب تتمتع باهمية خاصة للانسان فالحليب المأخوذ من بقرة سليمة صحيا لا يزيد محتواه البكتيرى عن الالف فرد لكل ملليلتر . وحالما يحلب الحليب يتعرض للتلوث من مصادر عديدة ـ الحيوان نفسه أو آلة الحلب او ايدى الحلابة او الهواء او اوعية الحليب او كلها بالطبع الى ان يصل الحليب الى مستهلكه ربما تحتوى حتى الانواع الجيدة منه على 50 الف فرد بكتيرى فى ملليلتر ، ويزيد هذا العدد حتى يصل الى 20 مليون أى حوالى مليون فرد من البكتريا لكل قطرة منه عندما يبدأ الحليب فى الحموضة . وعموما لا يوجد من بين هذه البكتريا ماهو ضار بالصحة ويعتبر الحليب حاملا فعالا لبكتيريا الامراض بحيث يكون لزاما اتخاذ اجراءات تؤدى الى تقليل اعداد البكتريا الكائنة فيه ـ وذلك بالعمليات الوقائية وبالتبريد السريع للحليب مما يقلل كثيرا من احتمال العدوى بسبب تناول الحليب . ومع ذلك ربما لا تكون هذه الطرق الوقائية كافية ذلك لان مرضين خطيرين على اقل تقدير تنتقل العدوى بهما عن طريق توفر حتى الاعداد الصغيرة من كائنات البكتريا الحاملة للعدوى ، وهذان المرضان هما داء السل tuberculosis والحمى الراعشة undulant fever . تنتقل العدوى بالمرضين عن طريق الحليب مباشرة بسبب اصابة الحيوانات . تعتبر بسترة الحليب pasteurization حارسا واقيا يمنع كل الامراض ، المنقولة بالحليب لذا تمنع بلدان كثيرة بيع الحليب الخام (غير المبستر) .

المستعمرات والمزارع النقية : Colonies and Pure Cultures

للمساعدة على دراسة البكتريا تم استنباط طرق تقنية لزراعة البكتريا فى الظروف المعملية فى الاوساط الغذائية التى تحوى بجانب الغذاء المواد الضرورية لنمو البكتريا . تنمو البكتريا اما فى انبوبة اختبار او فى اطباق بترى الزجاجية petri – dishes وهى اطباق زجاجية ضحلة تغطى باغطية غير محكمة ربما يكون الوسط الغذائى سائلا او صلبا ، ومن بين السوائل الغذائية الشائعة يوجد خليط غذائى يتكون من حساء يحتوى على خلاصة اللحم يضاف اليه بروتينات شبه مهضومة تعرف باسم الببتونات peptones . كما يضاف للمحلول الغذائى ايضا ، عند تنمية انواع معينة من البكتريا مواد سكرية مثل الجلوكوز glucose أو اللاكتوز lactose والسكروز Sucrose اما الوسط الغذائى الصلب فيتكون فى العادة من خليط من المواد الغذائية مجموعة فى مادة الآجار الجيلاتينية ، الذى يتحصل عليه من الطحالب الحمراء (فصل ـ 19) تكون وظيفة الآجار هنا هى مجرد عامل مساعد على التجميد ، لا يتدخل فى حياة غالبية انواع البكتريا . وبطبيعة الحال يجب ان يكون الوسط الغذائى والاوعية ايضا معقمة بعناية بحيث نضمن انتفاء وجود كائنات حية اخرى من غير صنف البكتريا المنتخبة .

تسمى تنمية الكائنات الحية الدقيقة فى وسط غذائى بالمزرعة (المستنبت) culture وعندما تكون كل البكتريا الموجودة فى المزرعة من نوع واحد تسمى مزرعتها عندئذ بالمزرعة النقية culture pure (شكل 20 ـ 11 أ) ومن الضرورى دائما عزل المزارع النقية بهدف دراسة تركيب الكائنات الحية الدقيقة وعملياتها . فعلى سبيل المثال يكون من الضرورى لدى دراسة بكتريا الحليب التحصل على نقطة منه



شكل (20 ـ 11 أ)

(اليسار) : مزرعة نقية لنوع من بكتريا Serratia marcescens) على الآجار .



شكل (20 ـ 11 ب)

(إلى اعلى) المستعمرات ، طبق زجاجى مملوء تماما بوسط صلب ، قلب كى يمس أرضية خشبية حكت مؤخرا . تمثل المستعمرات الناتجة عددا من الأنواع .

تحوى عددا من انواع البكتريا ، تضاف هذه النقطة الى انبوبة تحوى آجارا منصهرا ومعقما ومن ثم يخلط المجموع بعناية من اجل تساوى توزيع البكتريا فى الآجار . عندما يصب المخلوط فى طبق زجاجى تتكون طبقة رقيق وكبيرة المساحة تكون فيها البكتريا موزعة بالتساوى فى الآجار الذى سرعان ما يتجمد . تجرى بعد ذلك عملية الحضن incubation . وعلى اساس ان البكتريا لن تستطيع الحركة فى الوسط الصلب ، لذا يكون الفرد منها حول نفسه (بتكرار الانقسام) كتلة مدورة تعرف بالمستعمرة colony . وحيث ان كل مستعمرة تحتوى على الملايين من الخلايا ، وربما تكون المستعمرة قد تكونت من انواع مختلفة من البكتريا ، لذا تختلف عادة فى حجمها واقطارها والوانها وقوامها (شكل 20 ـ 11 ب) . وبالاستعانة بطرف ابرة معقمة تلمس بها احدى المستعمرات يتم نقل بعض البكتريا الى انبوبة تحوى آجارا معقما . وحيث ان المستعمرة الواحدة قد نتجت عادة من خلية واحدة او من بضع خلايا من نوع واحد فان ناتج نموها فى العادة يكون مزرعة نقية .

يمكن الحصول على المستعمرات ايضا عن طريق تعريض طبق زجاجى يحوى وسطا غذائيا للهواء الجوى لمدة قصيرة . وبعد بضعة ايام من الحضانة سوف يعلو سطح الآجار الكثير من المستعمرات التى ينتج كل منها من نمو خلية واحدة وقعت فى الوسط الغذائى . يمكن الحصول على مزارع نقية من هذه المستعمرات باتباع نفس الطريقة المبينة سابقا .

التحولات الغذائية فى البكتريا Bacterial Metabolism

يمكن تقسيم البكتريا انطلاقا من المصدر الاساسى للطاقة الى : بكتريا ذاتية التغذية autotrophic وبكتريا غير ذاتية التغذية heterotrophic . يمكن للبكتريا ذاتية التغذية النمو بمعزل عن الكربون من اصل مواد عضوية . وهذه الفئة ربما تكون ذاتية التغذية الضوئية photoautotrophic ويقال لها اختصارا phototrophs ، او ان تكون ذاتية التغذية الكيميائية chemoautotrophics ويقال لها اختصارا chemotrophs . تعتبر البكتريا ذاتية التغذية الضوئية (بكتريا البناء الضوئى photosynthetic bacteria) قليلة العدد نسبيا من حيث الانواع ، لذا لا تتمتع باهمية بيئية تذكر الا ان دراستنا لها قد وسعت مداركنا فى مجال البناء الضوئى . وهى خضراء أو ارجوانية وتحتوى على كلوروفيلات مميزة وبينما تختلف آليات البناء الضوئى فيها من عدة اوجه عن تلك الآليات الموجودة فى النباتات الراقية ، الا انها تشارك الاخيرة فى استهلاك ثانى اوكسيد الكربون كمصدر للكربون اللازم للتركيب الخلوى وكذلك فى تحول الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية تتحصل البكتريا ذاتية التغذية الكيميائية ايضا على ما يلزمها من كربون ثانى اوكسيد الكربون ، الا انها تحصل على الطاقة اللازمة لعمليات البناء بواسطة اكسدة المركبات غير العضوية بدلا من الضوء . والنوع السائد من بين البكتريا ذاتية التغذية الكيميائية هو بكتريا النترجة nitrifying bacteria (فصل ـ 10 الجزء الاول) ، تلك البكتريا التى تؤكسد الامونيا الى نتريت ومن ثم الى نترات وكذلك البكتريا الكبريتية sulfur bacteria العديمة اللون ، التى تحصل على الطاقة من اكسدة الكبريت او مركباته الى حامض الكبريتيك . توجد الاشكال الاخيرة فى كل من الماء والوحل والتربة ومستنقعات الخث (فحم نباتى فى المستنقعات) peat bogs والرواسب الكبريتية . والبعض منها يشكل اهمية فى دورة الكبريت فى الطبيعة . علينا ان نشير الى ان الطاقة التى تحصل عليها البكتريا ذاتية التغذية الكيمائية مثلها مثل الطاقة التى تحصل عليها البكتريا ذاتية التغذية الضوئية ، تستغل فى تخليق المركبات العضوية وبالتالى يجرى على بعض المركبات الاخيرة عمليات التحول الغذائى التى تحرر طاقة مفيدة تستخدمها الخلية ، ويستخدم الباقى فى انتاج مواد خلوية جديدة .

معظم انواع البكتريا غير ذاتية التغذية أى انها تتحصل على كربونها من مصادر المركبات العضوية التى سبق وان خلقتها كائنات حية اخرى . وبذا تكون هذه البكتريا من الطفيليات parasites أو تكون من الرميات saprophytes . تعالج المواد الغذائية غير الذائبة اولا بانزيمات خارج الخلايا مثل السليوليز cellulase والاميليز amylase والليبيز lipase والبكتنيز pectinase ، وانزيمات البروتيز proteases ، تلك الانزيمات التى تفرزها البكتريا فى البيئة المحيطة الملاصقة لها . ثم تنتقل المواد الذائبة الى داخل الخلية اما بالانتشار diffusion أو بالنقل الفعال active transport تتمتع البكتريا بالقدرة على انتاج انزيمات تتميز بفعالية تغيير انواع هائلة العدد من المركبات العضوية وفى الحقيقة من المحتمل ان كل مركب عضوى طبيعى التكوين يمكن لبعض انواع البكتريا ان تستغله كغذاء ومن بين هذه المركبات اللحم والخشب والجلد وغراء القرون الحيوانية والمادة القرنية للحشرات (كيتين) chitin of insects والاحماض العضوية وغيرها من المواد التى تحتوى على البروتين النباتى او الحيوانى والدهنيات او الكربوهيدرات . تحلل بعض البكتريا انواعا عديدة من المواد بينما تتخصص انواع اخرى فى قائمة طعام محددة .

تستخدم البكتريا الغذاء كمصدر للطاقة وكمركبات بنائية . فالجلوكوز على سبيل المثال والذى يستخدم كمصدر للطاقة ، ربما تستغله البكتريا ايضا فى بناء مركبات كربونية اكثر تعقيدا . وبالمثل فعلى الرغم من ان الاحماض الامينية تستخدم اساسا فى تخليق البروتينات ، ربما تستغلها البكتريا

كمصدر للطاقة . وبينما تتحصل كل أنواع البكتريا غير ذاتية التغذية على الكربون اللازم لها من مركبات كربونية فانها تحصل على النيتروجين العنصر اللازم لتخليق البروتين والاحماض النووية من مصادر عديدة تعتمد على نوع البكتريا . فهناك بعضها مثل البكتريا التكافلية mutualistic bacteria . وتلك التى تعيش حرة وكلاهما من المجموعة المثبتة للنيتروجين ، تستخدم نيتروجين الجو . تنتفع غالبية الانواع غير ذاتية التغذية مثلها مثل النباتات الخضراء بالنيتروجين غير العضوى الموجود فى النترات والامونيا والاخيرة بنوع خاص . يمكن استزراع الكثير من البكتريا غير ذاتية التغذية فى المختبر فى وسط لا يحتوى الا على مصدر من الكربون المختزل (مثل السكر البسيط) واحد املاح الامونيا . والعناصر المعدنية الضرورية . وبهذا الخليط الغذائى يتمتع الكائن الحى بالاكتفاء الذاتى وبالقدرة على تخليق الاحماض الامينية والفيتامينات ومكونات الاحماض النووية وغير ذلك من المركبات اللازمة للنمو .

والمثال الواضح على طبيعة انتفاع البكتريا بالامونيا(ايونات الامونيا ammonium ions) ، نجده فى عملية الهضم digestive process التى تقوم بها الحيوانات المجترة ruminants مثل الابقار والخراف والغزلان والماعز . يمر غذاء هذه الحيوانات من المرئى esophagus الى المعدة الاولى (الكرش) rumen حيث تعالج المركبات العضوية بعدد هائل من البكتريا وغيرها من الكائنات الحية الدقيقة وتتكسر بالنتيجة الى مركبات ابسط . ومن هنا يتحول سيليولوز الغذاء وغيره من الكربوهيدرات الى اشكال ذائبة عن طريق الهضم ، كما وتهضم البروتينات ايضا بالنشاط البكتيرى وتتخمر جزئيا الاحماض الامينية وتكون الامونيا من نواتجها . تتمتع بكتريا الكرش بالقدرة على تخليق كل الاحماض الامينية الضرورية اما من احماض امينية اخرى او من الكربوهيدرات والامونيا . ومن ثم تستخدم البكتريا هذه المركبات فى تخليق البروتين اللازم لها . ومع تحرك الغذاء من خلال الامعاء . تكون معظم البكتريا الموجودة معه قد قتلت وهضمت بواسطة انزيمات البقرة ، وينتج عن ذلك كميات كبيرة من الأحماض الامينية اللازمة للحيوان . ومن هنا نجد أن المجترات تتمكن من الحصول على أحماض أمينية مصدرها بروتينات البكتريا - لم تكن موجودة فى غذاء الحيوان ، ولم يكن ليستطيع أن يخلقها بنفسه . وبسبب استخدام البكتريا اللامونيا ، كثيرا مايزود غذاء الأبقار والخراف بمركبات لابروتينية nonprotein وتحتوى على مركبات نيتروجينية . ويستعاض بمثل هذه المواد ولو جزئيا عن البروتينات الغذائية باهظة الثمن . إن المركب الرئيسى المستخدم فى هذا الصدد هو اليوريا urea التى يمكن تخليقها اصطناعيا بتكاليف قليلة ، وتعتبر اليوريا فى حد ذاتها عديمة أو قليلة الفائدة بالنسبة للحيوان ، وسامة إذا ما أضيفت بكميات عالية . إلا أن بكتريا الكرش تحلل اليوريا مائيا وتحولها إلى امونيا وثانى اوكسيد الكربون . وستستخدم الأولى فى تخليق الأحماض الأمينية التى يستخدمها الحيوان فيما بعد لتكوين البروتينات .

العلاقات الاوكسجينية : Oxygen Relationships

يختلف سلوك البكتريا كثيرا فى وجود أو غياب اكسجين الجو . فبعض البكتريا تكون هوائية اجباريا obligate aerobes ؛ إذ تنمو فقط عند توفر الاوكسجين الجزيىء ، ومن بينها بكتريا النترجة وبكتريا تثبيت النتروجين nitrogen – fixing bacteria ، وكذلك الكائنات الحية المسببة لمرض الخناق (الدفتيرايا) diphteria والسل tuberculosis . والمجموعة الأخرى تسمى اللا هوائية إلا جبارية obligate anaerobes ، وهى تلك التى لا تنمو إلا بمعزل عن الهواء . وتتضمن هذه المجموعة الكائنات الحية التى تسبب التيتانوس (تسمم الدم) tetanus ، والغرغرينا الغازية gas gangrene (ونوعا البكتريا هذان يتكاثران بسرعة فى الجروح العميقة) ، وسواد أرجل الماشية blackeg of cattle والتسمم الناتج عن أكل ما هو فاسد (بخص) botulism . والمجموعة الثالثة (والأكبر عددا) تؤلفها اللا هوائيات الاختيارية faculta-tive anaerobes تلك التى تنمو بمعزل عن الهواء أو بوجوده والكثير من هذه المجموعة ذو نشاط تخميرى fermentative ، ويمكنه إجراء التنفس أو التخمير بناء على تواجد الاوكسجين أو عدمه .

أنواع التخمير : *Fermentations*

كما سبق أن أشرنا فى الفصل السادس (الجزء الاول) إن الذى يحدث فى عمليات التخمر هو أن يتحد الهيدروجين الناتج من تحلل السكر glycolysis مع بعض المركبات العضوية . وتكون الكربوهيدرات ، بصورة سكريات ، وهى أهم المركبات التى تزاول فيها بكتريا التخمر نشاطاتها . تختلف عمليات التخمر باختلاف الكائنات الحية المسببة لها ، وتشمل نواتج التخمر مختلف أنواع الكحول والأحماض العضوية التى

يشكل الكثير منها أهمية صناعية . يتم التخمر للحصول على الكحول الاثيلى ethyl alcohol عن طريق كل من البكتريا والخمائر ، وسوف نتعرض لذلك فى الفصل ـ 21 .

يعتبر تفاعل التخمر الذى ينتج حامض اللاكتيك lactic acid ، وهو ما يميز الحليب الحامض souring of milk من بين أهم تفاعلات التخمر . فعند تواجد اللاكتوز lactose (وهو سكر الحليب (milk sugar) يتحلل مائيا hydrolyzed إلى نوعين من السكريات البسيطة ، وذلك بواسطة انزيم بيتا ـ جلاكتوسيديز galactosidase ومن ثم تتخمر هذه السكريات مكونة حامض اللاكتيك lactic acid .

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_3H_6O_3 + \text{energy}$$

سكر بسيط ‏ ‏ ‏ حامض اللاكتيك ‏ ‏ ‏ طاقة

لحامض اللاكتيك ، المتكون اثناء تخمير سكر الذرة corn sugar أو المولاس (دبس السكر) molasses منافع كثيرة فى صناعة العقاقير والصناعات الكيميائية . يدخل تخمير حامض اللاكتيك فى إنتاج الكثير من أنواع الجبن وغيره من منتجات الألبان ، وكذلك فى حفظ الأعلاف الخضراء silage وتخمير الألبان .

وربما تستخدم الأحماض الأمينية فى النمو أو التنفس الهوائى ، أو بواسطة التخمر . تكون خلية البكتريا غير نفاذة لجزيئات البروتين الكبيرة ، غير أن الأحماض الأمينية الناتجة عن هضم البروتين بواسطة الانزيمات خارج الخلايا ، تستطيع اختراق الخلية البكتيرية . ينتج عن تخمر الأحماض الأمينية تكوين نواتج مثل الأحماض العضوية والامونيا والهيدروجين وثانى اوكسيد الكربون . وربما تتكون علاوة على ما سبق مركبات كريهة الرائحة مثل كبريتيد الهيدروجين (له رائحة البيض الفاسد) . يتكون كبريتيد الهيدروجين اثناء تخمير الاحماض الأمينية الحاوية على الكبريت مثل السستين cystine والميثونين methionine ، وهما من الأحماض التى يكثر وجودها فى البيض . يكتسب تخمر الأحماض الأمينية أهمية خاصة بالنسبة لصرف المجارى .

التنفس اللا هوائى : *Anaerobic respiration*

كما سبق أن ذكرنا يجرى التنفس اللا هوائى الحقيقى فى مجموعة صغيرة نسبيا من البكتريا ليس إلا . تقدر أفراد هذه المجموعة على إجراء اتحاد بين هيدروجين تحلل السكر وبين اوكسجين أحد المركبات اللاعضوية والحاملة للاوكسجين ، وتتحرر كمية من الطاقة أثناء هذه العملية . ومن بين هذه الأشكال توجد البكتريا اللا هوائية الاختيارية facultative anaerobic bacteria ، والبكتريا النازعة للنيتروجين denitrifying bacteria ، أى التى تحول النترات إلى نيتروجين حر ، وكذلك بكتريا الميثان اللا هوائية الاجبارية obligate anaerobic methane bacteria وهى التى تختزل ثانى اوكسيد الكربون إلى الميثان كما هو مبين بواسطة المعادلة :

$$4H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O + \text{energy}$$

هيدروجين ‏ ‏ ثانى اوكسيد الكربون ‏ ‏ ميثان ‏ ‏ ماء ‏ ‏ طاقة

والميثان أحد المكونات الرئيسية للغاز الطبيعى ويعرف أيضا بغاز المستنقعات march gas حيث إنه أهم مكون للفقاقيع المتصاعدة من وحل المستنقعات والبرك الغنية بمحتواها العضوى . ويتكون غاز الميثان أيضا أثناء المعالجة اللا هوائية لمياه المجارى ، وكذلك من الفضلات النباتية للمجارى ، ومن ثم يجمع الميثان ويحرق للحصول على ضوء أو طاقة .

البكتريا والبيئة المحيطة : Bacteria and the Environment

لا يتطلب نمو البكتريا الطاقة ومواد البناء وحدهما ، بل أيضا الرطوبة والعناصر الضرورية وكذلك الاوكسجين (للبكتريا الهوائية) ، ودرجة الحرارة المناسبة والتركيزات الازموزية ـ osmotic concentrations المناسبة ، وكذلك مقدار الرقم الهيدروجينى (PH) المناسب . كما تتطلب بعض الأنواع أيضا توفر عوامل نمو مثل أنواع معينة من الأحماض الامينية والفيتامينات التى لا تستطيع تخليقها بنفسها ،

وتحصل عليها من البيئة المحيطة . تتفاوت البكتريا بدرجة ملحوظة فى مقدرتها على الحياة والنمو فى محاليل تتمتع بتركيزات ازموزية عالية ، فنجد أن بعض الأنواع تثبط (تكبح) بتركيز يسمح بحدوث نمو نشيط فى أنواع أخرى يظهر بجلاء تأثير التركيز الازموزى على نمو بكتريا إفساد الطعام spoilage bacteria من حفظ بعض أنواع الأطعمة بالسكر أو الملح . تبدى أغلب أنواع البكتريا نموا أمثل فى الأوساط المتعادلة أو القريبة من التعادل بالنسبة للتفاعل . غير أن هناك بعض أنواع من البكتريا تطبق نسبيا الظروف الحامضية ، ومن بين الأنواع الأخيرة بكتريا حامض اللاكتيك ، إذ تزدهر عند الرقم الهيدروجينى 4(Ph4) أو حتى أقل . وحتى هذه الأنواع كثيرا ما يتوقف نموها بسبب الوسط الحامضى الذى تكون قد أنتجته بنفسها . تؤثر درجة الـ PH للبيئة المحيطة على النشاط الانزيمى وعلى تكوين السبورات وغير ذلك من مظاهر التحول الغذائى للبكتريا . كما تؤثر درجة الـ PH أيضا على معدل القضاء على البكتريا فى حالة التسخين أو باستخدام المركبات الكيميائية .

تشكل درجات الحرارة عاملا هاما فى نمو البكتريا إذ يزداد معدل النمو مع درجة الحرارة وذلك ضمن نطاق يختلف باختلاف نوع البكتريا . لكل نوع من أنواع البكتريا درجتا حرارة - دنيا وعظمى ، يتوقف النمو خارجهما سواء بالزيادة أو بالنقصان ، كما توجد أيضا درجة حرارة مثلى لكل نوع يحدث عندها أسرع تكاثر . وإذا اعتبرنا درجة الحرارة المثلى هذه لوجدنا أن معدل النمو ربما يتفاوت باختلاف درجات الـ PH وبوجود المواد المثبطة للنمو inhibiting substances ، أو طبيعة مورد الغذاء . قسمت البكتريا إلى ثلاث مجاميع صنفت على أساس نطاق نموها حسب التفاوت فى درجات الحرارة . علينا أن ننوه هنا بعدم وجود حدود فاصلة بينها ، وذلك بسبب احتمال تراكب النهايات الدنيا والقصوى لدرجات الحرارة بين المجاميع .

1 - البكتريا المحبة للدفء : Thermophilic bacteria (heat loving)

لهذه المجموعة نطاق درجات حرارة للنمو تتراوح بين 40 - 75 م° . تتوزع هذه المجموعة بانتشار واسع فى الطبيعة وخصوصا فى الينابيع الحارة والتربة وأكوام السماد الطبيعى compost heaps وأكوام السماد عموما manure piles وغير ذلك من المواد العضوية المتفسخة . تعتبر الأشكال الخضرية والسبورية للكثير من أنواع البكتريا المحبة للدفء مقاومة للحرارة بشكل غير عادى ، لذا فهى ضارة بعمليات معالجة الأغذية وحفظ الألبان وغيرها من الصناعات الأخرى .

2 - البكتريا المحبة للبرودة : psychrophilic bacteria (cold loving)

تنمو هذه الأنواع عند درجات حرارة تتراوح بين الصفر المئوى و 30 درجة مئوية ، ويصل نموها الأمثل عند حوالى 20 م° تسبب البكتريا المحبة للبرودة أحيانا فساد الأطعمة المحفوظة فى الثلاجات أو حتى المجمدة .

3 - البكتريا الوسيطة : mesophilic bacteria

يتطلب نمو هذه الأنواع درجات حرارة وسطا بين النوعين السابقين . وتشمل غالبية أنواع البكتريا ، ومن بينها الرميات saprophytes المعتادة التى تعيش فى التربة والماء . تنمو هذه الأنواع عند درجات حرارة تتراوح بين 20 - 46 م° تقريبا . بعض أنواع البكتريا الوسطية يعتبر مسببا لأمراض الانسان ، ويزدهر نموها فى درجة حرارة جسم الانسان - 37 م° . وبسبب أن درجة الحرارة المثلى لنمو معظم أنواع البكتريا تزيد عن درجة الغرفة (حوالى 20 م) لذا توضع مزارع البكتريا فى حواضن incubator ، تعتبر الواحدة منها حيزا مغلقا تجرى فيه المحافظة على درجة الحرارة المناسبة .

تشخيص البكتريا : Identification of Bacteria

على العموم يتم التفريق بين كائن حى وآخر بشكلهما الخارجى أو المرفولوجى وينطبق هذا الى حد ما على البكتريا أيضا . إذ يدخل فى نطاق الدراسة المبدئية للتشخيص (1) إجمالى الشكل العام ويشمل الحجم والبنية texture واللون شكل المستعمرات . (2) الشكل العام المجهرى microscopic morphology ، للخلايا الحية وغير الحية الملونة . تكشف الدرجات المجهرية عن سمات الشكل العام مثل القدرة على

الحـركة ، ووجـود السبورات وكـذلك حجم الخـلايا وشكلهـا وترتيبها . كما ويمكن مشاهدة التراكيب غير المرئية فى الخلايـا الحية (أى غير المصبـوغة) ، بـواسطة صبـاغتها وهى عمليـة ربمـا تساعـد على التفـريق بين الانـواع المختلفـة التـراكيب الكيميائية . غير أن انواع البكتـريا متعـددة ومتشابهـة الامر الـذى يتوجب معـه عنـد تشخيص شكلهـا العنام الكشف عن بعض سماتها الفسيولوجية ايضا فى سبيل تحديد ما اذا كـان الكـائن الحى هوائيـا أو لا هوائى ، وأى أنـواع السكـر التى تتخمـر فيه وأى ـ الغـازات أو الأحماض ينتـج عن ذلك ، وأى درجة حرارة يتم فيها النمو الجيد ، وكذلك بغرض الوقوف على امكـانية النـوع المدروس فى تحـويـل الـوسط الجيـلاتينى الى سـائـل ، ولمـراقبـة النتـائـج الأخـرى لتـأثـير البكتريا . يتطلب أمر الكشف عن هوية نوع بعينه من البكتريا جهدا أكثر من استخدام الفحص السريع تحت المجهـر ؛ حيث يلـزم اجراء الكثـير من الفحوص المختبـرية المعقـدة . ونظـرا لكثـرة تعـدد أوجـه الاختـلاف بـين انـواع البكتـريـا كثـيرا مايستخدم الحاسب الآلى فى التشخيص .

التحكم فى البكتريا The Control of Bacteria

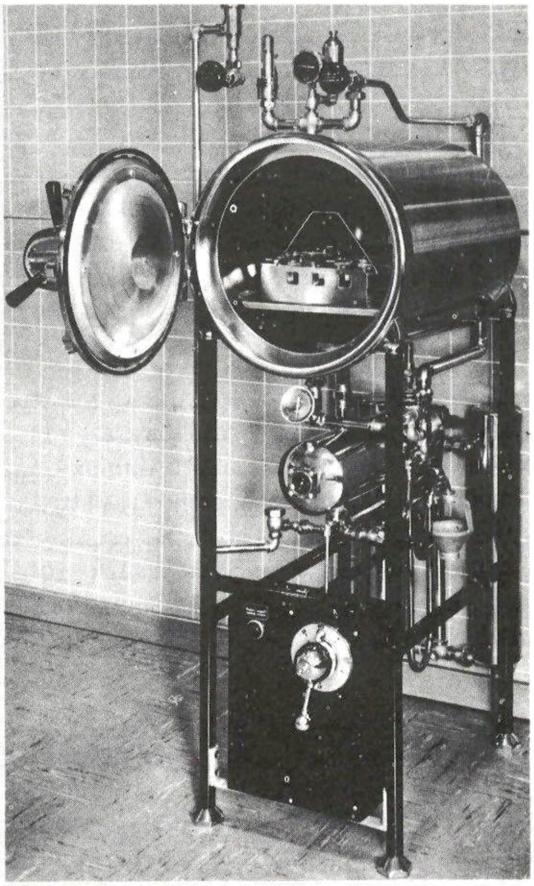
للتحكم فى البكتريا التى تسبب انتشـار الأمراض وتفسـخ المـواد أهمية بـالغة فى مجـالات الصحة العـامـة والصنـاعـة والزراعة وفى حفظ الاغذية وتخزينها . ويستهدف هذا التحكم اجراء عمليات من شأنها أن تثبط نمو البكتريـا أو تقضى عليها تمـاما ، وتعتبـر هذه العمليـات شائعـة فى حياتنـا اليـوميـة . وتتضمـن المعـالجـات استخـدام اليـود والكلـور وبـعض المطهـرات ـ وهى مـركبـات تحتـوى عـلى الـزئبق أو الفضـة والفينـول Phenol والكـريسـول Cresol والسلفـون أمـايـد Sulfonamides والفـورمالـدهايـد forma ldehyde وبعض الصبغـات الأسـاسيـة مثـل البنفسجي البلـورى Crystal Violet ـ والمضـادات الحيـويـة antibiotics والأحمـاض العضـوية ، والأشعـة فوق البنفسجيـة Ultraviolet Light والتجفيـف Drying والتسخـين heating . كمـا أن تعليـب الأطعمة وبسترة الحليب وتعقيم معدات الجراحـة تعتبر كلهـا عمليات تستهدف التحكم فى البكتريا . توجد بعض المعـالجات التى تقتل البكتريا فى المرحلة الخضرية ولكن لاتقضى عليها اذا كانت فى الطور السبورى . عندما يتم القضاء عـلى كل أشكـال الحياة فى البكتريـا ، بما فى ذلـك السبورات ، وتعـرف العملية عندئذ بـالتعقيم Sterilization . تعتبر الحـرارة أكثر الطـرق شيوعا فى القضاء على الكائنات الحية الدقيقة .

وكمـا أن الغـلى هـو أحـد الطـرق الشـائعـة فى استخـدام الحـرارة، حيث تقضى هذه العمليـة على البكتـريـا فى طـورهـا الخضرى ، اذ تتسبب فى تجلط بروتين الخلايا وينتج عنه مـوت الكائن الحى . إلا أن الغلى لايعتبر طريقـة للتعقيم وذلك لعـدم تمكنه من القضاء على كل السبـورات . ومن محاسن الصـدف أن البكتـريا التى تسبب غـالبية الأمـراض المعدية لاتكون سبـورات ، لذا يمكن قتلهـا بالغـلى . وبهـذه الطـريقـة يمكن معـالجة الأطعمـة والأوعية وأدوات المطبـخ والمـلابس ، وعن طريق الغلى يمكن تحويل الماء الملوث بـالبكتريـا الى ماء صـالح للشرب .

هناك عدد محـدود من البكتريـا المسببة لـلأمراض تكـون سبورات ، وتضم هذه القـائمة الكـائنات التى تسبب الجمـرة الخبيثـة Anthrax والتسمـم من أكـل فـاسـد Botulism والغرغرينا الغازية Gas Gangrene والتيتانوس Tetanus . جنبا الى جنب مع بعض انواع من البكتريـا التى تسبب المرض للحيوانات الاليفة . رغما عن هذا فان غـلى الماء تـأمينا لشربـه يعتبر فعالا ، حيث إن هذه السبورات اما أن تكون غير موجودة فى الماء أو أن وجودها لايسبب عدوى مرضية اذا مرت بالقنـاة الهضمية .

حيث ان سبورات البكتريا المرضيـة وغير المـرضية منهـا ، ربمـا تعيش بعد الغـلى ، يتطلب الأمر أجـراء عمليـة تعقيم فى المختبـر اذا كان ضروريـا قتل كـل الكـائنـات الحيـة . يتطلب التعقيم الحـرارى درجات حـرارة أعـلى من درجـة الغليـان ، ويمكن الـوصـول اليهـا بعـدة طـرق ومن بـين الطـريقتـين المستخـدمتين فى التعقيم الحـرارى تعتبر الطـريقة الحـرارية الجـافة Dry Heat أبسطهمـا اذ يتم القضـاء عـلى المحتـوى السبـورى للمـواد اذا مـاوضعت هـذه المـادة فى جهـاز تعقيم بالهواء الساخن لمدة ساعة ونصف عند درجة حرارة 120م° . يتم تعقيم الأدوات الزجاجية وبعض المعدات وغيرها من المواد بهـذه الطريقـة ومن السهل استنتـاج أن استخـدام طـريقـة التعقيم بالهواء الحار الجاف مقصـورة على تعقيم المـواد التى لاتتأثر بالجفاف أو بدرجة الحرارة المستخدمة .

وطريقة التعقيم الحـرارى الأكثر انتشـارا تستخدم بخـار المـاء تحت ضغط . فتحت الضغط الجـوى يغـلى المـاء عنـد 100م° وكلما ارتفع الضغط الجوى ترتفع معه درجـة الغليان للماء . فعندما يقارب الضغط حوالى 2 ضغط جوى تكون درجة الغليان المناظرة 121مْ وهى درجة كـافية للتعقيم اذا مـاحوفظ عليها لمدة 15 دقيقة . يتم التوصل الى درجة الحرارة المطلوبـة عن طـريق تسخـين المـاء فى وعـاء يسمى عـادة بـالمعقـام Autoclave (شكـل 20 ـ 12) ، أو بواسطـة تغذيـة المعقـام بـالبخار حتى قـراءة مقياس الضغط 15 رطـلا على البـوصـة



شكـل (20 ـ 12) المعقـام (فـرن الضـغط) autoclave ، المصـدر الحرارى كهربائى

المربعة (حوالى 1كغم على السنتيمتر المربـع) . توضـع الأشياء المراد تعقيمها بحيث تتعرض للبخار المحمص Superheated Steam . ان استخـدام البخار تحت ضغط ينتج عنه حـرارة رطبة تتسبب فى قتل السبورات عند درجات حرارة تقل عن تلك الحرارة المستخدمة فى حالـة التعقيم بالهـواء الحار الجـاف . تستخدم المستشفيات باستمرار المعقـام من أجل تعقيم أدوات الجراحة والمـلابس وغير ذلـك من التجهيزات . ومن تطبيقـات المعقـام ، قدر الضغط المستخـدم فى المنازل والقـدور الضخمة المستخدمة فى معامل التعليب ، والتى تستخدم فى طهى وتعقيم الالاف المؤلفة من معلبات الأطعمة فى الوجبـة الواحـدة ، وغير ذلك كثير .

والطـريقة الأخـرى المستخـدمـة فى التعقيم والتى اتسـع انتشارها فى السنوات الأخيرة يستخـدم فيها مـزيج من الغـاز يحوى اوكسيد الاثيلين Ethylene Oxide . يستفاد من هـذه الطريقة فى تعقيم المواد الطبية والجراحية الحساسة للرطوبـة والحـرارة أى تلـك التى لايمكن تعقيمهـا بـالبخـار أو الهـواء الجـاف على حـد سواء . وتعتبـر أجهزتهـا من أجهزة التعقيم الخاصة .

البكتـريا ذات العـلاقـة بـالأطعمـة : Bacteria in Relationship to Food

تعتبر البكتريا والخمائر والعفن Molds من العوامل الهامة المساعدة على فساد الطعام . يتطلب أمر حفظ الطعـام تثبيط أو ايقاف نمو البكتريا وغيرها من كائنات التفسـخ ، والأفضل من ذلك أن يتم القضاء على هذه الكائنات الحية الموجـودة سواء فى الطعام أو حوله . ومن بين أهم وسائل حفظ الطعـام نجد خفض درجـة الحـرارة والتجفيف ، واستخـدام المـواد الحـافظـة Breservatives ، وأخيرا التعليب Canning .

يتطلب خفض درجـة الحـرارة الاستعـانـة بـالثـلاجـات الكهربائية ، بدرجات حرارة شائعة من درجـة الصفر المئـوى الى 10 درجات تحت الصفر ، كما فى الثلاجة المنزلية ، وكذلـك التخزين بالتجميد Freezing Storage (تحت درجات حـرارة 18 تحت الصفـر المئوى أو أقـل) كما فى الأغـذيـة المجمـدة . لاتمـوت البكتريـا فى ظل درجـات حرارة الثـلاجة ، بـل وربما تتمكن البكتريا من مـواصلة نمـوها ولـو ببطء والتجميد أكثـر فعالية من الثلاجة حيث يتسبب فى ايقـاف نمو البكتـريا . واذا مارفعت درجة حرارة الأغذية المجمدة الى درجة حرارة الغـرفة فسرعان ماتفسد ، اذا لم تستهلك .

نظرا الى أن البكتريا تحتاج الى المـاء لنموهـا ، كغيرهـا من الكائنات ، لذا يكون تجفيف الأغذية من بعض محتواها المائى Dehydration وجعله أقل من الدرجة الحرجة ، أحـد الطرق المستخـدمـة فى حفظ الأطعمـة كـالبيض والسمـك واللحـوم والحليب والفـواكه والخضروات . يبـدأ نمو البكتـريـا حـالمـا يضـاف الماء لـلأغذيـة المجففة ، ومن هنـا تتعـرض الأطعمـة للفسـاد . هناك طـريقة تسمى طـريقـة التجفيف بـالتجميد Freeze – Drying تمتـاز عن الطرق القـديمة بـأنهـا تحتفظ للطعـام باكبـر قدر من طعمـه ونكهته وشكلـه . بـاتبـاع هـذه الطريقة يـوضع الطعـام فى جهاز للتجميـد Freezer، ومن ثم يـوضع فى حيـز مفرغ من الهـواء ، وتتحول بلـورات الجليـد المـوجودة فى الطعـام مبـاشرة الى بخـار المـاء ومن ثم تتخلص الأطعمة بما يقارب من 98٪ من محتواها المائى .

يضاف السكر والملح والأحماض والعديد من المواد الأخرى الى الأطعمة لغرض حفظها . ينتج التأثير الحافظ للسكر والملح

فى الغالب بفعل البلزمة Plasmolysis الحادثة فى خلايا البكتريا . توجد أنواع بعينها من العفن أكثر مقاومة لدرجات التركيز العالية للسكر وتتفوق فى ذلك على البكتريا ، ولذا يظهر العفن أحيانا فوق سطح المربى والحلوى والجيلى وغيرها من صنوف الأطعمة المحفوظة حيث يستحيل على البكتريا أن تنمو . لقد استخدمت الأحماض على وجه الخصوص ، حامض الخليك Acetic Acid وحامض اللاكتيك Lactic acid ، منذ القدم فى حفظ الأطعمة . وربما يحفظ الطعام باضافة الخل أو برفع درجة الحموضة أثناء عملية تخمر حامض اللاكتيك . ففى البيئة الحامضية لاتتكاثر البكتريا بل ربما تموت ، أما حامض اللاكتيك المتكون عن عمليات التخمر فيتسبب فى حفظ منتجات الألبان وأنواع المخللات والزيتون الأخضر والأعلاف الخضراء والألبان المخمرة والكثير من أنواع الجبن .

ان معالجة الأطعمة بالاشعاعات المؤينة Ionizing Radiations (اى الالكترونات وأشعة جاما Gamma) جرت دراستها بتوسع ، وقد تحمل فى طياتها آفاقا مستقبلية .

التعليب : *Canning*

تستهدف كل عمليات التعليب القضاء ، باستخدام الحرارة ، على البكتريا فى شكليها الخضرى والسبورى . لدى قتل البكتريا بالحرارة يجب الأخذ فى الاعتبار عوامل كثيرة ، ومن اهم هذه العوامل درجة الحرارة ، ومدة تعريض الأطعمة لهذه الدرجة ، والرقم الهيدروجينى وطبيعة الغذاء المراد تعليبه . يمكن معالجة الأطعمة إما تحت درجة غليان الماء أو بواسطة بخار مضغوط .

تطبق طريقة معالجة الغذاء بالغلى أحيانا ، وهى طريقة مأمونة وفعالة تصلح للاطعمة شديدة الحموضة فقط ، مثل التفاح والكمثرى والاناناس والراوند Rhubard ، وأغلب أصناف الكرز والخوخ والبرقوق والمخلل (طرشى) Sauerkraut والطماطم . تقع غالبية الثمار فى نطاق PH يتراوح بين 3 و 4 . ربما يضاف الخل أحيانا لرفع درجة الرقم الهيدروجينى فى الأطعمة ضعيفة الحموضة مثل البنجر Beet ، الى PH = 4,5 ، وهى الدرجة التى تسمح بالتعليب المضمون بواسطة الغلى . عند غلى الأطعمة ذات البيئات عالية الحموضة تقتل بجانب الخلايا الخضرية للبكتريا الكثير من سبوراتها أيضا ويستحيل على السبورات الناجية أن تنبت فى الظروف الحامضية PH = 4,5 فاقل ، وهى الحالة الموجودة فى كثير من الأطعمة ، اما الأغذية قليلة الحموضة(PH أعلى من 4,5) مثل الهليون والفاصوليا والذرة والبازلاء واللحوم ، فيجب معالجتها بالبخار المضغوط . تعالج الأطعمة ضعيفة الحموضة فى الصناعة تحت درجات حرارة تتراوح بين 100 - 120م° لمدة 12 دقيقة الى ساعة ونصف الساعة ، واذا ماعلبت هذه الأطعمة فى الظروف المنزلية بواسطة الغلى فقط - كما يحدث أحيانا فقد تنجو السبورات من القتل مما يؤدى الى فساد المعلبات بعد وقت . وربما تتضمن مثل هذه السبورات المتبقية بعض سبورات البكتريا العصوية التى تسبب التسمم ، الذى ربما يسبب بدوره الوفاة الناتجة عن مرض تسمم الطعام .

البسترة *Pasteurization*

استهدف من البسترة فى البداية منع فساد الخمور ، ولاتزال مستخدمة حتى الآن فى انتاج النبيذ والجعة Beer والجبن وعصير الفاكهة غير المخمر . كما تستخدم أيضا وفى الأساس لمعالجة الألبان للقضاء على البكتريا المرضية ، مثل الكائنات الحية التى تسبب مرض السل والحمى الراعشة Undulant Fever والتهابات الحنجرة والحمى القرمزية Scarlet Fever . هناك طريقتان تستخدمان فى بسترة الحليب . ففى الطريقة الأقدم التى تسمى بطريقة الكبح (الايقاف) Holding Process ، يسخن الحليب الى 62م° ولمدة 30 دقيقة . ولقد طبقت بعد ذلك الطريقة الأحدث ، وتسمى بطريقة التسخين لدرجة حرارة عالية ولوقت وجيز - Short Time – High ' Temperature Method ولقد شاع استخدامها فى السنوات الأخيرة . يعرض الحليب فيها فى طبقات رقيقة لدرجة حرارة تساوى 72م° ولمدة 15 ثانية . لقد تم التوصل الى تحديد درجة الحرارة هذه من خلال دراسة علاقة درجة الحرارة والزمن اللازم للقضاء حراريا على الكائنات الحية المسببة لمرض السل ، وقد ثبتت فعاليتها أيضا فى التأثير على الكائنات المسببة للأمراض الأخرى . وفى كلتا الطريقتين يعقب الخطوة المذكورة تبريد الحليب بسرعة الى أن يصل الى درجة تثبط نمو البكتريا .

علينا ان ننوه الى ان البسترة ليست عملية تعقيم ، اذ لاتسبب قتل سبورات البكتريا ، كما ان درجة الحرارة المستخدمة فى العملية والتى تقل كثيرا عن درجة الغليان لاتسبب قتل كل الخلايا الخضرية ، ويتضح ذلك بجلاء بالنسبة لبعض انواع بكتريا حامض اللاكتيك على الرغم من ان المتبقى من اعدادها منخفض كثيرا . ومن هنا تتضح امكانية حموضة الحليب فى العادة بعد بسترته مثله فى ذلك مثل الحليب الخام ، على الرغم من بطء العملية فى حالة البسترة .

البكتريا والامراض : Bacteria and Disease

ان تسبب البكتريا فى انتشار الكثير من الامراض المعدية امر مسلم وحقيقة واضحة لامجال للشك فيها ، والذى يثير الاستغراب حقا هو عدم توصل الفكر العلمى الى هذه الحقيقة منذ امد بعيد . ففى عام 1876 فقط تم الكشف عن تسبب نوع من البكتريا فى اصابة الحيوانات بمرض الجمرة الخبيثة . ولقد كشف عن ذلك العالم روبرت كوخ Robert Koch ، وهو طبيب المانى ، كشف ايضا عام 1882 عن ان اصابة الانسان بالسل الرئوى تتم بواسطة كائنات حية خاصة من البكتريا العضوية tubercle bacillus . وبذا تعيش البكتريا ليس فى التربة والماء والمواد العضوية المتفسخة فقط ، بل ايضا فى الانسجة الحية للنباتات والحيوانات . ان نشاطات البكتريا المرضية فى جسم الانسان وردود فعلها فيه ، تدخل فى مجال اهتمامنا ، اذ اننا الضحايا المرتقبون . وقد اخذ الانسان منذ امد ـ زمام المبادرة بالنسبة الى الكثير من الامراض وبذلك استطاع حل هذه المعضلة المستعصية القائمة بينه وبين الكائنات الحية الطفيلية .

البكتريا المرضية والتوكسينات (السموم) : Pathogenic Bacteria and Toxins

تظهر اعراض امراض البكتريا المرضية فى الانسان والحيوان على حد سواء بسبب التوكسينات وهى مواد سامة تنتجها البكتريا الغازية invading bacteria . وتنقسم توكسينات البكتريا المرضية الى نوعين : التوكسينات الخارجية exotoxins والتوكسينات الداخلية endotoxins . هناك نسبة قليلة من البكتريا المرضية التى تنتج التوكسينات الخارجية . ويعتبر التركيب الكيميائى هو الفارق الهام بين النوعين المذكورين من التوكسينات فالتوكسينات الخارجية هى من البروتينات اما الداخلية فتتكون من الدهنيات متعددة السكريات lipid pollysa ccharide المعقدة .

وتلقب التوكسينات الخارجية ايضا بالتوكسينات الذائبة اذ انها (فيما عدا القليل منها) ، تنتشر خارجة عن الخلية البكتيرية الحية الى انسجة المضيف (العائل) المحيطة ، وكثيرا ما يمكن الحصول عليها بعد الترشيح من الوسط السائل الذى تنمو فيه . واذا ماحقن حيوان تجريبى بالراشح ظهرت عليه اعراض المرض المعين . بعض التوكسينات الخارجية تعتبر من اقوى السموم المعروفة واكثرها فتكا اذ تزيد درجة فتكها عن سموم الاكونتين aconitine والسترخنين strychnine اوسم الكوبرا cobra venom . ومن بين انواع البكتريا المرضية التى تفرز التوكسين الخارجي توجد الستافيلوكروية Staphylococci والستربتركروية Streptococci ، وكذلك الكائنات الحية المسببة لمرض الخناق (الدفتيريا) والفرغرينا الغازية . كما تفرز بعض البكتريا التى تصيب النبات التوكسينات الخارجية ايضا .

وعلى النقيض من التوكسينات الخارجية التى تتحرر من الخلية الحية ترتبط التوكسينات الداخلية بجدران الخلايا ولا تتحرر الا بموت خلية البكتريا وتفسخها . وتقل التوكسينات الداخلية عن الخارجية فى درجة سميتها ومن بين الكائنات الحية المنتجة للتوكسينات الداخلية تلك التى تسبب مرض حمى التيفوئيد typhoid Fever والسعال الديكى Wlooping Cough والكوليرا الاسيوية Asiatic Cholera ووباء السحيا الدماغية .

بعض انواع البكتريا المرضية عالية التخصص اذ يؤثر النوع منها فى نوع او جنس نباتى او حيوانى بعينه والانواع الاخرى تصيب العديد من انواع المضيف كثيرا ماتكون غير ذات قربى . فمرض الحمى الراعشة والحمى الخبيثة والاصابة بالسل الرئوى ، تحدث فى الانسان وفى بعض الحيوانات من ذوات الدم الحار . وانواع البكتريا الاقل تخصصا ربما تحل ضيفا على كائن حى وسيط . فعلى سبيل المثال يعتبر الطاعون Plague مرضا يصيب الفئران والقوارض فى الاساس وربما تنتقل الكائنات الحية الحاملة للمرض من فار لآخر او من فأر لانسان بواسطة البراغيث او من انسان لآخر بالبراغيث ايضا او بعدوى الرذاذ . ومع التعقيدات هذه يسهل علينا الان ادراك ان انتشار الاوبئة هذه قد اعجز او اعيى اقوى الحكومات قبل الكشف عن ماهية الكائنات الحية المرضية .

تسمم الاطعمة وتلوثها : Food Poisoning and Food Infection

ربما تكون الامراض الناتجة عن تناول طعام ماعديدة الاسباب اذ تسبب النواتج السامة للنباتات والحيوانات حالات المرض فبعض انواع عيش الغراب Mushrooms واسماك القواقع Shellfish ، على سبيل المثال ، تسبب التسمم عند اكلها ، كما يمكن ان يتلوث الطعام بمبيدات حشرية او طحالب مؤذية او انواع عديدة من المركبات العضوية وغير العضوية . الا ان البكتريا ونواتجها تعتبر المسئول الاول عن اغلب حالات التسمم بالطعام . ويسمى المرض الناتج عن كل هذه العوامل المساعدة ، عند العامة على الرغم من عدم دقته بمرض التسمم البتوميني (بتناول الاطعمة الفاسدة) Ptomaine Poisoning . فالبتومينت Ptomaines هى نواتج تحلل البروتينات بفعل البكتريا . ولا تظهر هذه النواتج الضارة الا اذا كانت الاطعمة قد وصلت الى مرحلة متقدمة من التفسخ ، ولا يوجد لدينا من ادلة على علاقة هذه المواد بنوبات التسمم بالطعام . فالبتومينات لاتسبب اى ضرر للانسان فى واقع الامر اذا ماتناولها عن طريق الفم . ان البكتريا المسئولة عن الامراض التى يسببها الطعام عديدة الانواع وسنناقش اهم الامراض الناتجة عنها فيما يلى :

البكتريا الستافيلوكروية وتسمم الطعام *Staphylococcus food poisoning*

يعتبر هذا المرض اوسع امراض التسمم انتشارا ، واعراضه مرض عدد كبير من الناس بعد تناولهم الطعام معا فى حفل او عرس او نزهة . يتلوث الكثير من انواع الاطعمة بالبكتريا المذكورة ، وبذا يصبح الطعام مصدرا للتسمم . ومن بين الاطعمة التى تتعرض لهذه الاصابة اللحوم والحلوى المحشوة بعجائن الكريم وبعض مواد تغطية السلطات كالمايونيز وماشابهه وبعض الصلصات وكلها تعتبر وسطا ممتازا لنمو البكتريا اذا ماتركت خارج الثلاجة .

تشترك عدة سلالات من البكتريا السنتافيلوكروية فى تسمم الطعم ، وكذلك بافرازها توكسينات خارجية تسمم الطعام قبل اكله . وان هذا التوكسين هو المسبب للمرض وليست البكتريا بذاتها . وهذا التوكسين قابل للذوبان ومقاوم للحرارة ومن هنا يستحيل القضاء عليه بطهى الاطعمة الملوثة .

الاطعمة الملوثة كثيرا مايصعب تمييزها ، سواء بالمذاق او الشم . وتمضى فترة تتراوح بين الساعتين والاربع ساعات من تناول هذه الاطعمة وظهور اعراض التسمم . والطريقة المثلى للسيطرة على مثل هذه البكتريا والتحكم بنموها دراءا لخطرها تكمن فى العناية بالصحة وبحفظ الاطعمة فى الثلاجات . لايعتبر التسمم الناتج عن تناول طعام ملوث بالبكتريا الستافليوكروية قاتلا اذا ماأصاب الانسان سليم الصحة ، اذ يسترد عافيته خلال بضعة ايام . يقدر عدد المصابين بتسمم الطعام فى الولايات المتحدة بما يزيد عن نصف مليون فرد سنويا .

تلوث الطعام بـالسلمونيـلا : *Salmonella food infection*

يعتبر هذا النوع هو الثانى فى الترتيب وهو قليل الشيوع بين امراض التسمم بالطعام . وتحدث الاصابة بواسطة جنس السلمونيلا البكتيرى . تسبب الانواع الاخرى من هذا الجنس الاصابة بحمى الباراتيفويد paratyphoid fever ، كما ان مجموعتها ترتبط بالقربى مع البكتريا العضوية التى تسبب حمى التيفوئيد . وعلى العكس من التسمم الناتج عن البكتريا الستافيلوكروية تكون الاعراض المرضية للاصابة بالسلمونيلا نتيجة للبكتريا ذاتها . اذ لاتنتج السلمونيلا توكسينا خارجيا ، وبذا تكون العدوى حقيقية ، كما لاتظهر الاعراض الى ان يتاح للبكتريا الوقت الكافى للتكاثر فى جسم الانسان لذا يتطلب الامر مضى من 8 الى 24 ساعة تبدأ من تناول الطعام الملوث وتنتهى بظهور اعراض المرض .

على الرغم من ان الاصابة بهذا المرض قد كشف عنها نتيجة تناول العديد من انواع الاطعمة بما فى ذلك الحليب . الا انها غالباً ما تحدث نتيجة لتناول اللحوم . تصيب السلمونيلا الحيوانات والدواجن المنزلية ايضا . واذا لم يتم الكشف عنها قبل الذبح ، ربما يسبب اكل الانسان للحومها ، خصوصا اذا لم تكن مطهية بعناية اصابته

بالمرض . تتضمن طرق التحكم ، الفحص للكشف عن وجود البكتريا والوقاية الصحية والعناية بطهى الطعام وتبريده ، والبسترة بالنسبة للحليب . حالات الوفاة بسبب الاصابة بهذا المرض منخفضة .

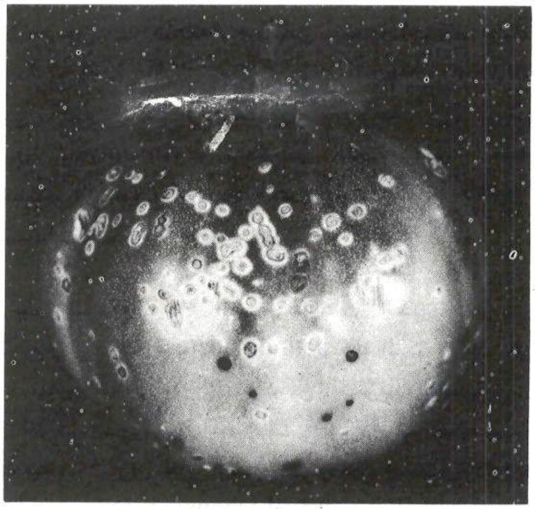
التسمم الناتج عن طعام فاسد : *Botulism food poisoning*

يكون الكائن الحى المسبب لهذه الحالة نوعا من البكتريا العصوية الكبرى والمتحركة والاهوائية والتى تكون سبورات . ويدخل هذا النـــوع ضمن نفس الجنس الذى يسبب مرض التيتانوس (جنس الكلوستريديوم Clostridium). وتعتبر هذه البكتريا من رميات التربة ، تنتشر فى كثير من ارجاء العالم . وينتج المرض بسبب استهلاك طعام يحوى توكسينا خارجيا . وعلى الرغم من ان هذا المرض غير واسع الانتشار الا انه خطر جدا ، اذ تصل نسبة الوفاة عند الاصابة به 60٪ بل يحدث احيانا فى حالة التلوث الشديد ان يموت كل من تناول هذا الطعام . ويعتبر هذا التوكسين اعتى السموم المعروفة . ويقدر ان الاوقية الواحدة منه تسبب وفاة 400 مليون نسمة . لقد كشفت الدراسات عن ان اغلب حالات التسمم هذا قد نتجت عن اطعمة معلبة منزليا بطريقة الغلى فقط وخاصة اللحوم والاسماك والخضروات منخفضة الحموضة ، مثل الفاصوليا الخضراء والبازلاء والهليون والسبانخ والبنجر والذرة . لقد حدثت حالة تسمم من هذا النوع فى الولايات المتحدة (فى عام 1963). وسببت حالتى وفاة وكانت بسبب تناول معلبات تجارية كانت قد صنعت عام 1953 . كان الطعام فى هذه الحالة غير معلب بصورة جيدة مما اتاح للبكتريا العصوية فرصة الدخول من اماكن اللحامات بعد اتمام التعقيم .

تقتل عملية التعليب تحت درجة الغليان الاشكال الخضرية للكائنات الحية المسببة لهذا التسمم ، ولكن يمكن للسبورات ان تقاوم ثم تنبت فى الظروف اللاهوائية المحيطة وبعد الانبات يتكاثر الكائن الحى ويفرز التوكسين الخارجى الى الطعام . من المتعذر اكتشاف فساد مثل هذا الطعام ، فلا الطعم ولا الرائحة يعتبران مؤشرين جيدين للحكم على فساده . وكما سبق ان اشرنا يجب تعليب الاطعمة قليلة الحموضة باستخدام البخار المضغوط فقط ، وبذلك يتم القضاء على سبورات كل انواع البكتريات . ولذلك يتوجب على مستهلكى الاطعمة المعلبة منزليا ازالتها من آنيتها وغليها لمدة دقيقة قبل اكلها . فالتوكسين الخارجى ماهو الا بروتين يقضى عليه بالغلى .

الامراض البكتيرية التى تصيب النباتات :Bacterial Diseases of Plants.

كثيرا ما تهاجم البكتريا مثلها مثل الفطريات الطفيلية المحاصيل الزراعية ونباتات الزينة ويسبب هذا الهجوم قلة المحصول ، بل وانعدامه كلةً احيانا . فى الولايات المتحدة تم التعرف على 200 نوع او صنف للبكتريا ، شخصت بانها تسبب امراضا للنبات ، ويزيد هذا العدد كثيرا عن تعداد الانواع التى تسبب امراض الانسان وغيره من الحيوانات الاخرى . ان البكتريا التى تسبب امراض النبات وثيقة الصلة ببكتريا التربة على العكس من صلتها بالبكتريا التى تصيب الانسان والحيوان . فكل هذه الانواع عصوية الشكل ولا تكون سبورات . ومن الغريب حقا انه لايوجد من بينها على ما يبدو ما يهاجم السليولوز ، وهناك عدد قليل نسبيا يسبب تحلل النشاء مائيا hydrolyze ، علما بان كلا من السليولوز والنشاء مكونان رئيسيان للنبات . تكون انسجة النباتات الفتية خصوصا تلك التى تمر بمرحلة البادرات seedling سريعة التأثر بالعدوى اكثر من الانسجة البالغة . تهاجم بعض انواع البكتريا امراض النبات نوعا معينا من النباتات (المضيفة)، بينما تقتصر انواع اخرى على جنس او عائلة نباتية . ومن ناحية اخرى ان العديد من طفيليات الجروح Wound parasites (مثل التضخم التاجى crown gall والاعفان البكتيرية الرخوة bacterial soft rots)، تهاجم المئات من الانواع فى العديد من العوائل النباتية . ولا يعرف من بين البكتريا التى تصيب الانسان والحيوان الا نوع واحد يصيب النبات ايضا . لقد اكتشف فى عام 1955 ان بكتريا البسيدومونس (Pseudomonas aeruginosa) المعزولة من خراج او دمل الانسان human abscess ، سببت المرض لدرنات البطاطس وكونت عفنا رخوا .



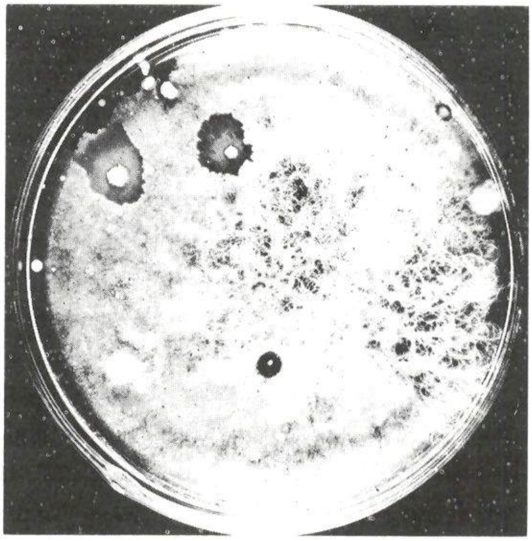
شكل (20 ـ 13) تقرح بكتيرى أصاب الطماطم عن طريق بكتريا (Corynebacterium michiganense) .

لايوجد الا القليل من النباتات الاقتصادية التى لاتصاب ولو بنوع واحد من البكتريا على اقل تقدير،ومن بين الامراض النباتية التى تسببها البكتريا آفة النار Fire blight التى تصيب التفاح والكمثرى ، والعفن البكتيرى الرخو الذى يصيب الخضروات والفاكهة والسوسن Iris والكالة Calla ، والآفات التى تسببها البكتريا لكل من الفاصوليا والبازلاء والرز والقطن والجوز القاسى والعوائق (الدلفينيات) delphiniums ، والانتفاخات التاجية على الكثير من النباتات الخشبية وقرح الحمضيات Citrus Canker ، وذبول البرسيم الحجازى alfalfa بسبب البكتريا التى تصيب ايضا نباتات الجيرانيوم والطماطم والذرة ومحاصيل الكروم ، واصابة اوراق ـ القرع cucurbits ببقع مثلثية الشكل ، والعفن الاسود black rot، الذى يصيب الصليبيات crucifers (وتشمل الكرنب واللفت والخردل الخ ..)، والقرح البكتيرية التى تصيب الطماطم (شكل 20ـ13) وآفات التبغ الحارقة Wildfire of tobacco . ويتفاوت تأثير الغزو البكتيرى للنباتات المصابة تفاوتا كبيرا ، ففى الامراض التى تصيب النباتات الوعائية مثل الذبول الذى يصيب الطماطم والبطاطس والتبغ تغزو البكتريا اوعية الخشب vessels of xylem مما يسبب ذبولا فجائيا فى النبات . يحدث هذا الذبول من جراء انسداد الاوعية بالعفن اللزج ـ الرخو Loose slime الذى تنتجه الاعداد الكبيرة من البكتريا . وفى امراض اخرى تصاب الخلايا البرنشيمية parenchyma cells للاوراق او الساق او الجذر ، مما يسبب تفككها بتأثير التوكسين او بفعل انزيمات بكتينية هاضمة pectin digesting enzymes يحفز الكائن الحى المتسبب فى الانتفاخات التاجية نموا زائدا فى الانسجة بما يشبه السرطان cancer . اشهر مسارات الغزو التى تتخذها البكتريا اثناء مهاجمتها للنباتات هى جروح النبات ، الا ان البكتريا قد تهاجم النبات المضيف (العائل) host ايضا عبر الثغور stomata والثغور المائية hyd - athods hydathodes والعديسات lenticels والازهار . يمكن ان تنقل البكتريا بواسطة الحيوانات الراقية والحشرات والعث mites ، او بفعل الامطار والماء الجارى وغبار الرياح ، او بواسطة الانسان اثناء الزراعة ، والتقليم pruning او نقل المواد النباتية المصابة ، او عن طريق البذور المصابة infected seeds او الابصال bulbs او الدرنات tubers المصابة او غير ذلك من اجزاء النبات الاخرى .

المضادات الحيوية : Antibiotics

عندما تنمو الكائنات الحية الدقيقة معا فى التربة او الماء او فى المستنقعات الاصطناعية ، تتخذ علاقاتها الواحدة بالاخرى اشكالا عديدة . فقد يكون هذا التعايش مفيدا لاحد الاطراف واحيانا يكون مفيدا لكلا الكائنين . ومن جهة اخرى ربما يكون احد هذه الكائنات الحية مضادا للآخر اما بسبب خلقه ظروفا غير ملائمة لنمو الآخر ، او بسبب افرازه لواحد او اكثر من المركبات العضوية السامة . وتثبط هذه المواد ، ولو بتراكيز منخفضة نمو الكائنات الدقيقة الاخرى ، بل وربما تقضى عليها . ومن هنا جاءت التسمية بالمضادات الحيوية antibiotics . ويعنى هذا المصطلح ، فى استخدامه العام ، تلك المواد ذات الاصل الحيوى (البيولوجى) التى لها القدرة على التدخل ، بطريقة او باخرى فى التحولات الغذائية للكائنات الحية الاخرى (شكل 20ـ14).

منذ عام 1943 بدأ انتاج المضادات الحيوية تجاريا واستخدامها فى معالجة الامراض التى تصيب الانسان والحيوان على حد سواء وللمضادات الحيوية استخدامات



شكل (20 ـ 14) التنافر بين الكائنات الحية الدقيقة . لقح الآجار بمليلتر واحد من محلول تربة بدرجة تخفيف 1 : 10 ملايين ، ثم حضن تحت درجة حرارة 28 مْ ولمدة خمسة أيام . توضح المساحات الحرة الظاهرة حول ثلاث مستعمرات ، انها قد أنتخبت مضادا حيويا انتشر فى الوسط المحيط وثبط من نمو الكائنات الحية الأخرى .

غير طبية ايضا ، مثل تغذية الحيوان والتحكم فى امراض النبات . لقد استنبطت اهم الكائنات الحية المنتجة للمضادات الحيوية من مصدر التربة . وتنمى الآن اعداد هائلة من مزارع كائنات التربة الحية ، حيث اجتازت العديد من الفحوص للكشف عن خصائصها كمضادات حيوية . ولقد عثر على الكثير منها ، الذى ينتج مضادات حيوية ، ولكن عددا قليلا نسبيا منها فقط ثبتت صلاحيته فى العلاج الطبى ومن اهم اسباب ذلك التحديد ، انّ المضادات الحيوية تتباين كثيرا من حيث تسميمها للمضيف ، سواء أكان انسانا او حيوانا او نباتا . فبعضها شديد التسمم ، وبينما يمكن استخدام بعضها خارجيا يحظر استخدامه داخليا . تنقسم المضادات الحيوية الى قسمين رئيسيين ، المضادات الحيوية للبكتريا antibacterial والمضادات الحيوية للفطر antifungal . وقد ينتج الكائن الحى الواحد كلا النوعين . فعلى سبيل المثال ينتج الـ (Streptomyces griseus) كلا من المضاد البكتيرى ستربتومايسين streptomycin والمضاد الفطرى سيكلوهكسيميد cycloheximide (الاكتيديون Actidlone) تتباين المضادات الحيوية فى طبيعة نشاطها المثبط ، فمثلا يوقف البنسلين penicillin تكوين جدار الخلية فى البكتريا ، كما يعتقد ان للاريثروما يسين erythromycin دخلا فى منع اتحاد الاحماض الامينية الى بروتينات . لازالت آليات التثبيط للكثير من المضادات الحيوية غامضة .

يتم الحصول على اهم المضادات الحيوية من : 1ـ الاكتينومايسيتس actinomycetes 2ـ البكتريا 3ـ العفن (بنسليوم penicillium) وذلك من الفطريات الحقيقية . كما ان انواعا اخرى من المضادات الحيوية قد أستنبطت من مجموعات اخرى من الفطريات ومنها الخمائر yeasts ، والطحالب والاشنات Lichens وكذلك من النباتات البذرية .

الاكتينومايسيتس: *Actinomycetes*

لقد تم الحصول على اهم المضادات الحيوية من الاكتينومايسيتس ، التى تلقب احيانا « بعفن » البكتريا ، وذلك لكونها تحتل مكانا وسطا بين البكتريا الحقيقية والفطريات . وهذه الكائنات الحية تتخذ عادة شكل الخيوط المتفرعة ، قطرها حوالى ميكرون بما يوصلها لحجم البكتريا . تتكسر الخيوط فى الكثير من انواعها الى خلايا منفردة تتشابه مع البكتريا الكروية او العصوية ، كما تواصل هذه الاجزاء انقسامها ويكون التكاثر فى انواع اخرى بما يشابه التكاثر الفطرى ، فهناك خلايا تكاثرية متخصصة تسمى الكونيديا Conidia تتكون عند اطراف الخيوط انفراديا او بشكل سلاسل (شكل 20ـ15) . كما ان خلايا الاكتينومايسيتس بروكريوتية procaryotic مع ذلك ، وعلى الرغم من وجود التشابه بينها وبين الفطريات ، الا ان موضعها فى الكثير من نظم التصنيف يكون اما بين البكتريا الحقيقية او منفصلة عنها ، ولكن فصيلتها قريبة الصلة بها . تتواجد هذه الانواع فى التربة اساسا وبأعداد تتراوح بين المليون الى 500 مليون لكل غرام من سطح التربة . اما رائحة الرطوبة المميزة ، التى تتصاعد من التربة المحروثة حديثا فسببها مركبات متطايرة تنتجها بعض انواع الاكتينومايسيتس . معظم الاكتينومايسيتس من الرميات ، ويسبب عدد قليل منها امراض النبات والحيوان .



شكل (20 ـ 15) اكتينومايسيتس الـ Streptomyces griseus ومنه يستخرج الستربتومايسين ، المضاد البكتيرى والسلكوهكسيميد (ويسمى الاستيديون) وهو مضاد فطرى ، ينتج هذا الكائن الحى مضادات حيوية أخرى لاحظ وجود السبورات (كونيديا) فى شكل سلاسل .

يحتل الستربتومايسين (اكتشف عام 1944) والكلورومايسيتن chloromycetin (اكتشف عام 1947 ويحضر الآن اصطناعيا) والاوريومايسين aureomycin (اكتشف عام 1948) والنيومايسين neomycin (اكتشف عام 1949) والترمايسين terramycin (اكتشف عام 1950) مكان الصدارة بين اوائل المضادات الحيوية التى استخرجت من الاكتينومايسيتس . لم يتوقف ابدا اكتشاف المضادات الحيوية الجديدة ، فقد اعقب ماذكرنا اكتشاف العديد منها . ولايزال يكتشف منها حتى الآن . ينتج الاكتينومايسيتس المضادات الحيوية الفطرية (مثل النيستاتين nystatin بجانب المضادات الحيوية البكتيرية .

البكتريا : *The bacteria*

على الرغم من ان المضادات الحيوية ذات الاصل البكتيرى اقل كثيرا من تلك التى منشأها الاكتينومايسيتس ، الا انه قد تم اكتشاف العديد من المضادات البكتيرية ظهرت منافع الكثير منها . ومن بين تلك نذكر البستراسين bacitracin ، الذى استخلص فى عام 1945 من جرح ملوث والبلوليمكسين polymyxin ، الذى استخلص عام 1947 . ينتج النوع الاخير من احد انواع بكتريا التربة التى تكون سبورات .

العفن : *Molds*

يعتبر البنسيلين مضادا حيويا قيما ضد الاصابات البكتيرية ، وينتج للاغراض الطبية من انواع معينة من البنسيليوم Penicillium (وفى الاساس من Penicillium Chrysogenium) وهو جنس من العفن المخضر ، الذى ينمو فى العادة فى الخبز والجبن والحمضيات والمصنوعات الجلدية والمواد العضوية المتفسخة . وبينما تظهر فائدة البنسيلين الجمة فى مواجهة الكثير من الامراض البكتيرية الا انه يعجز عن مقاومة امراض اخرى . ينتج نوع آخر من البنسيليوم مضادا حيويا فطريا يسمى جريسيوفلفين griseofulvin .

انتاج المضادات الحيوية : *Production of antibiotics*

تتباين كثيرا طرق انتاج المضادات الحيوية فى تفاصيلها الصناعية الا ان المبادىء العامة تتشابه فى كل من الاكتينومايسيتس والعفن . اذ تحقن مزرعة نقية للكائن الحى فى محلول غذائى معقم يوضع فى خزانات كبيرة يحوى الواحد منها ما بين 1500ـ900 لتر . تسمى هذه الخزانات بخزانات التخمير ، ونظرا الى ان الكائنات الحية هى من النوع الهوائى لذا يتوجب ضخ هواء معقم فى المحاليل لتأمين النمو الطبيعى . بعد مضى فترة النمو ، التى تقدر بالساعات او الايام يرشح الوسط ويستخلص المضاد الحيوى الخام ، من بين نواتج الترشيح ومن ثم تجرى تنقيته .

الفيروسات : Viruses

لقد عرف منذ زمن بعيد ان هناك عوامل متناهية الدقة المجهرية cramicroscopic agents تسبب الامراض فى كل من الحيوانات والنباتات هى الفيروسات التى تسمى اساسا

بالفيروسات المترشحة filterable viruses ، ذلك لانها تنفذ من خلال مسام المرشحات ، علما بان هذه المسام تبلغ فى دقتها حد التمكن من حجز حتى صغائر البكتريا . ولقد تم الكشف عن مئات الامراض التى تسببها الفيروسات وللسهولة قسمت الى ثلاث مجموعات :

1ـ الفيروسات الحيوانية animal viruses وهى تلك الفيروات التى تسبب المرض فى كل من الحيوان والانسان .

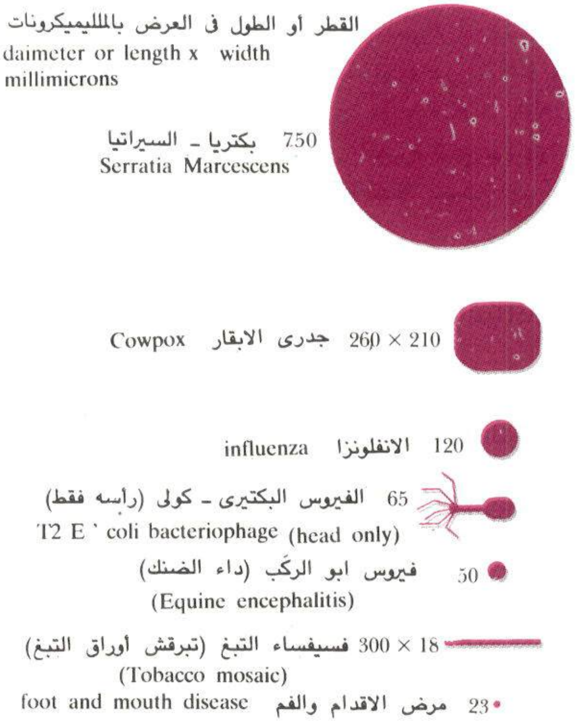
2ـ الفيروسات النباتية plant viruses وهى الفيروسات التى تسبب امراض النبات والتى ظلت سنين عديدة معروفة بانها تصيب النباتات الزهرية وحدها . ومع ذلك ففى عام 1962 اكتشف مرض يصيب محاصيل عيش الغراب cultivated mushroom وكان سببه احد انواع الفيروسات واكتشف فى عام 1963 نوع آخر من الفيروسات يتخصص فى مهاجمة الطحالب الخضراء المزرقة .

3ـ الفيروسات التى تصيب البكتريا والاكتينومايسيتس .

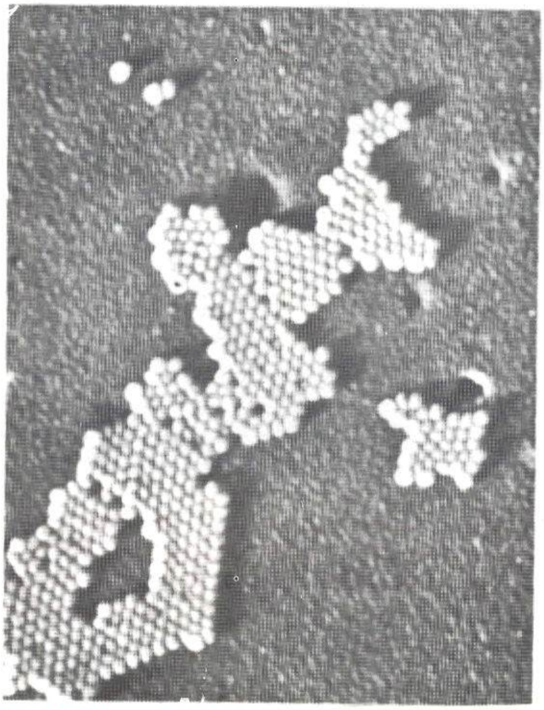
ومن بين الامراض الفيروسية التى تصيب الانسان نذكر الانفلونزا influenza والحصبة measles وداء المنطقة (حصى) shingles ، والنكاف mumps وجدرى الفراخ (الجذرى الكاذب) chicken pox ونزلة البرد العادية common cold والدمامل warts والالتهاب الرئوى الفيروسى pneumonia virus وشلل الاطفال poliomyelitis وحمى الضنك (ابو الركب) dengue والتهاب الكبد infections hepatitis وداء الكلب rabies والحمى الصفراء yellow fever والجدرى smallpox ، وتتضمن الامراض التى تصيب الحيوان التهاب فم وارجل الماشية foot - and - mouth disease وسل الكلاب dog distemper وانفلونزا الخنازير swine influenze وداء الاسد المعدى infectios myxomytosis ، الذى يصيب الارانب وغير ذلك من الامراض المعدية التى تصيب الطيور والحشرات . ان بعض الاورام الخبيثة malignant tumors التى تصيب الحيوان (وربما الانسان ايضا) سببها الفيروسات . ومن بين النباتات الهامة اقتصاديا والتى تتأثر بالفيروسات نجد البطاطس والطماطم وقصب السكر sugar cane والذرة والكاكاو cacao والبنجر السكرى sugar beet والقمح والخوخ والفاصوليا والرز والخيار والشليك (الفراولة) strawberry والتفاح والتوت الافرنجى rospberry والتبغ والكثير من نباتات الزينة ornamentals . تعتبر الامراض الفيروسية شديدة الخطر بوجه عام على النباتات التى تتكاثر خضريا بمساعدة الانسان . وربما تسبب الاصابة الفيروسية قتلا موضعيا لبعض المساحات وربما للنبات كله ، ويحدث احيانا ان تسبب كبح ازدهار النبات ومن ثم تقليل محصوليته .

لقد اخفقت كل المحاولات المبذولة لتكاثر الفيروسات فى وسط غير حى . فالمعروف عن الفيروسات تكاثرها فى نطاق الخلايا الحية للعائل (المضيف) فقط فللاغراض التجريبية يحافظ على بقاء الفيروسات حية ويجرى اكثارها بتكرار حقنها فى المضيف نباتا ام حيوانا او بواسطة زرعها فى مزارع من الانسجة الحية او على الغشاء المحيط بجنين الكتكوت المتكون developing chick embryo .

تحول الاحجام الصغيرة للغاية التى تتصف بها غالبية الجسيمات الفيروسية دون رؤيتها تحت اكبر تكبير للمجهر الضوئى ، لذا تدرس فى العادة بالاستعانة بالمجهر الالكترونى . فبينما يكون الميكرون هو مقياس ابعاد البكتريا تقاس جسيمات الفيروسات لدقة حجمها بالملليميكرونات والملليميكرون الواحد يعادل 1000/1 من الميكرون ، اى 1000000/1 من الملليميتر . تتراوح الفيروسات حجما (شكل 20ـ16) بين الكبيرة نسبيا مثل فيروس الزهرى pox virus الذى لايكاد يرى تحت المجهر الضوئى وبين تلك التى تكافىء تقريباً حجم جزىء البروتين الكبير . وتتباين الفيروسات فى الشكل ايضا تباينا كبيرا فبعضها بيضوى oval ، والبعض الاخر كروى او شبه كروى spherical ، على الرغم من ان اغلبها ، ان لم تكن كلها ، تتخذ اشكالا متعددة السطوح ومتعددة الواجهات polyhedral , with numerous facets (شكل 20ـ17) وعلى الرغم من ذلك فهناك من الفيروسات ما يتخذ شكل القضيب الصلب rigid rod بينما تتخذ اخرى شكل الخيوط المرنة flexible threads (شكل 20ـ18) غالبية الفيروسات البكتيرية تتخذ هيئة فرخ الضفدع (ابو ذنيبة) tadpolelike ، اذ يكون لها ذيل ورأس (شكل 20ـ16).



شكل (20 ـ 16) الأحجام المقارنة لكل من البكتريا والفيروسات . تعتبر السيراتيا من النوع القضيبى (العصوى) القصر .



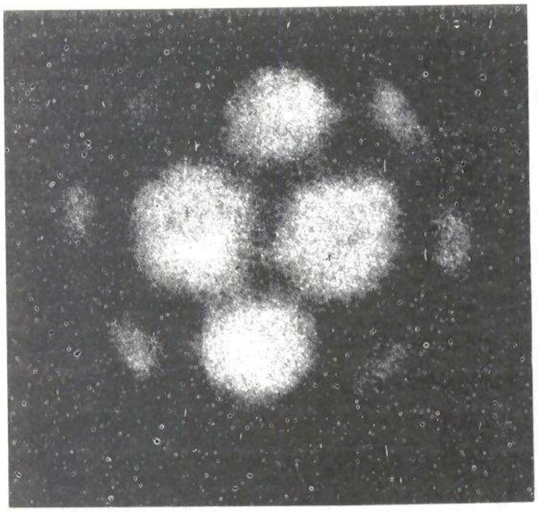
شكل (20 ـ 17) فيروس شلل الأطفال Poliomyelitis الطراز الثانى (تكبير 49,000 مرة) . يبلغ قطر الفيروس حوالى 28 ملليميكرون .

وبسبب استحالة اكثار الفيروسات فى وسط غير حى ، اعتمدت طريقة عزلها وتنقيتها بطرق تجمع بين الكيميائية والفيزيائية مثل ترسيبها بانواع الكحولات او الاملاح ، يتبعها عمليات الطرد المركزى الانتخابى differential centrifugation . ويعقب عملية التنقية المذكورة تحديد التركيب الكيميائى للفيروس . وتتكون غالبية الفيروسات من غمد بروتينى يحيط بقلب (لب) core من حامض نووى nucleic acid . يتكون الغمد البروتينى بدوره من وحدات بروتينية عادية التركيب regularly arranged protein subunits (capsomeres) يختلف عددها حسب نوع الفيروس (شكل 20ـ19) . يكون الحامض النووى اما DNA او RNA ولا يتواجدان معا فى فيروس واحد . فالاحماض النووية لكل الفيروسات البكتيرية تقريبا (phages) تحوى DNA . علاوة على ذلك يوجد DNA ايضا فى بعض فيروسات الحيوان مثل فيروس الزهرى وغالبية فيروسات

شكل (20 ـ 18) فيروس الـ Cymbidium الفيسيفائى ويصيب اوراق الاركيدات orchids . يصل طول القضيب الواحد منه 480 ملليميكرون (تكبير 21,000) .



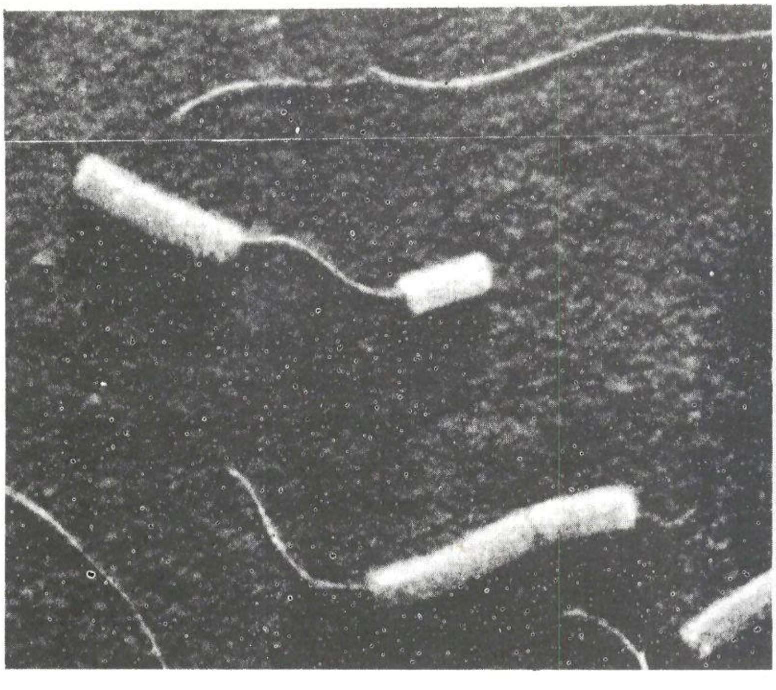
الحشرات ، بينما غالبية فيروسات الحيوان ، جنبا الى جنب مع فيروسات النباتات الراقية تحتوى على RNA وحده . وسواء احتوى الحامض النووى على RNA او DNA فهو المادة المسئولة عن الخصائص المميزة للفيروس ولا غرو ، فالحامض النووى هو المادة الناقلة للمعلومات الوراثية hereditary information .



شكل (20 ـ 19) فيروس الاصفرار الفسيفائى لنبات اللفت (تكبير 2000,000) يعتبر هذا الفيروس من اصغر الانواع حجماً ، إذ يبلغ قطره بين 20 و 30 ملليميكرون يتألف وعاؤه البروتينى من 32 وحدة بروتين فرعية .

اعادة تكوين بنية الفيروسات : Reconstitution of Viruses

من بين الانجازات الباهرة فى معرفة طبيعة الفيروسات تم فى عام 1956م اكتشاف ان فيروس مرض فسيفساء التبغ (مرض تبرقش التبغ) tobacco - mosaic virus ، يمكن فصله الى مكونين مع امكانية اعادة تركيب الفيروس مرة اخرى من مكونيه هذين . من خلال الدراسات الكثيرة على هذا الفيروس تبين انه يتكون من اسطوانة بروتينية سميكة الجدران (تشكل حوالى 94٪ من حجم الفيروس) وتحيط بقلب يتكون من الحامض الرايبو نووى ribonucleic acid (شكل 20ـ20) ويترتب ترتيبا حلزونيا على طول الاسطوانة



شكل (20 ـ 20) فيروس فسيفساء التبغ ، فى حالة تدهور جزئية (تكبير 217500 مرة) . ازيل الغمد البروتينى كليا او جزئيا بمعالجته بالفينول ، الخيط فى أعلى الصورة هو الـ RNA الذى أزيل عنه غمده تماما ، سبب طول الخيط الملحوظ هو عدم التفاف الـ RNA على نفسه .

البروتينية . لقد تمّ فصل بروتين الفيروس بمعالجته كيميائيا من القلب (RNA). وبعد ذلك اعيد تجميع هذين المكونين تحت ظروف مناسبة وفي غياب الخلايا المضيفة ، وتكونت جسيمات الفيروس التي تشبه الجسيمات الاصلية وتسببت مثلها في اصابة اوراق التبغ بالمرض . هذا مع العلم بان الاسطوانة البروتينية وحدها لاتسبب العدوى ، كما ان RNA الفيروس النقي كان معديا ، الا انه ليس بنفس درجة عدوى الفيروس الاصلي او الجسيمات المعاد تركيبها . وظهر ان الـ RNA وحده قد جرد جزئيا من رتبته (اى درجة مقدرته على العدوى) وذلك بسبب فعل انزيم يوجد في الخلية المضيفة ، كان الـ RNA محميا من الانزيم بواسطة كسوته البروتينية (الغلاف البروتيني) protein coat .

لقد اجريت فيما بعد تجربة اخرى لم تكتف بتقديم البراهين الاضافية على مقدرة الجسيمات المعاد ترتيبها على العدوى من جراء وجود الحامض النووي فقط ، بل لقد بينت ايضا ان RNA هو المجدد الجيني genetic determinat ، وبذلك يكون له نفس الدور الذي يلعبه الـ DNA في بعض الفيروسات الاخرى وفي الخلايا . تم فصل الـ RNA كذلك بروتين سلالتين مختلفتين سوف نرمز لها بـ (أ) و(ب) ومن ثم اعيد اتحاد الـ RNA من السلالة (أ) مع بروتين السلالة (ب) مما انتج هجينا hybrid سلاليا . وبعدها حقن هذا الهجين السلالي في اوراق التبغ حيث ظهر تأثيره المعدي . عندما استخلص الفيروس من الورقة ، وجد ان الـ RNA يعود الى السلالة (أ) وان بروتين الفيروس يعود الى السلالة (أ) ايضا . تشير هذه النتيجة الى ان الـ RNA الذي يحتويه نسل progeny هجين الفيروس قد تسبب في تخليق بروتينه الخاص ، وليس من النوع الابوي (اى النوع الذي حقن به).

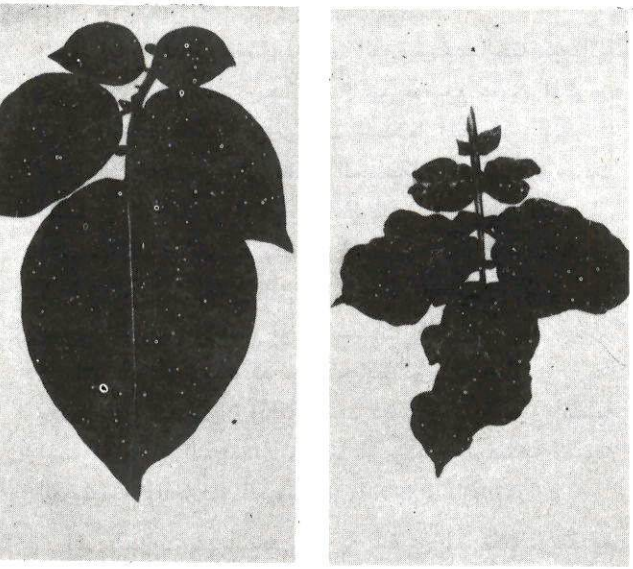
الفيروسات ـ بعض المظاهر المتفرقة Viruses— Some Miscellaneous Aspects

تتشابه الامراض الفيروسية في الانسان والحيوان مع تلك الناتجة عن البكتريا في كون ان الشفاء من الكثير من الامراض الفيروسية يتبعه تكوين مناعة immunity او مقاومة العدوى التالية على اقل تقدير ، وكثيرا ما تكون هذه المناعة مدى الحياة . وما الحصبة measles والجدري الكاذب والحمى الصفراء وسل الكلاب (علة الكلاب) canine distemper الا امثلة على الامراض الفيروسية التي يسبب الشفاء منها مناعة ضد العدوى التالية ولمدى الحياة . هناك خاصية هامة اخرى للفيروسات في انها تتغير وراثيا (عن طريق الطفرة) في ظل الظروف الطبيعية والتجريبية على حد سواء . هناك فيروسات خاصة ، اذا ما حقنت في مضيف جديد او نسيج جديد ، او اذا ما نمت في ظل ظروف غير عادية ، فانها تنتج سلالات مغايرة لاصولها من حيث شدة العدوى التي تنتجها وانواع المضيف ، وكذلك من حيث كميات وانواع وتراتيب الاحماض الامينية التي تتألف منها بروتيناتها ، وما الى ذلك . ومن بين الفيروسات النباتية التي تم التعرف عليها اكثر من مائة سلالة او طفرة تختص بفيروس مرض فسيفساء التبغ (تبرقش التبغ) . وتحدث مثل تلك التنوعات في الفيروسات الاخرى ولكن ليس بهذه الاعداد الكبيرة .

اجريت اولى الدراسات على الفيروسات والامراض الفيروسية ، في النباتات في عام 1892 و 1893 . تسمى الفيروسات النباتية (والمعروف منها يزيد عن 400) وتصنف بطرق مختلفة: (1) بناء على النباتات المضيفة التي تصاب بها ، وكذلك الاعراض النمطية التي ينتجها المرض والامثلة على ذلك هي البقع المصفرة التي تعلو ثمرة الخوخ peach yellows وتجعد قمم البنجر cyrlytop of beets وبقع الداليا الحلقية dahlia ringspot ومرض البازلا المخطط (المقلم) pea Streak ومرض التفاف اوراق البطاطس potato leaf roll ومرض النورة الكاذبة التي تصيب ضربا من التوت البري cranberry falso blossom ومرض نخر اللحاء الذي يصيب شجرة الدردار phloem necrosis of elm ؛ (2) وبناء على شكلها العام كما يظهر تحت المجهر الالكتروني ؛ (3) وبناء على درجة الحرارة التي تسبب بداية موتها ، وترسيبها بالطرد المركزي العالي ultracentrifuga-tion sedimentation وتفاوت انتشارها diffusion gradiants في الاوساط المختلفة وتحاليلها الكروماتوغرافية chromatographic analysis ووفق تحديدها بالاختبارات الكيموحيوية والفسيولوجية

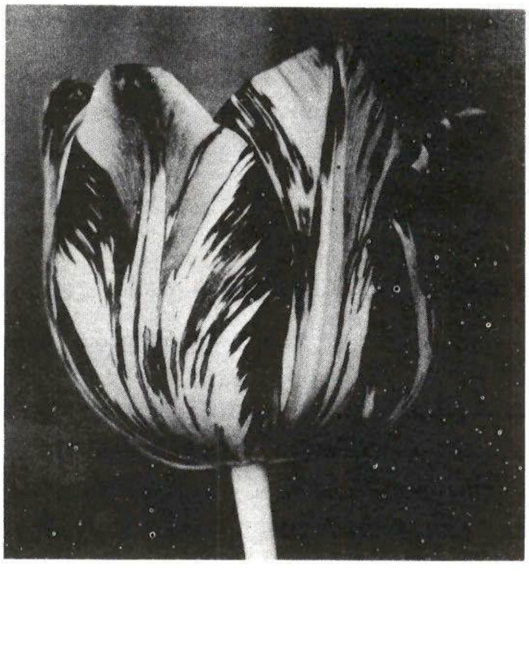
تسبب العـــدوى الفيروسية في مجمـــوعة هـــامة منها مرض الفسيفساء (البرقشة) mosaic diseases

ولقد لقبت هذه الامراض بالاسم المذكور بسبب وجود ترقعات فى اوراق النبات المصاب تتخذ مظهرا ملونا من الاخضر الفاتح او مناطق صفراء تتخلل مساحات الورقة الخضراء الداكنة ، نتيجة قضاء المرض على الكلوروفيل فى مناطق الاصابة بالفيروس . وربما تصبح الاوراق ايضا مبرقشة او مجعدة (شكل 20ـ21) نتيجة للمرض . ومن بين اهم النباتات المزروعة والمعرضة للاصابة بالامراض الفسيفسائية (برقشة الاوراق)، التبغ والطماطم والبطاطس والخيار والفاصوليا والبنجر السكرى وقصب السكر . كما تسبب بعض امراض الفسيفساء تقطع الالوان الملفت للنظر كما يحدث احيانا فى ازهار بعض نباتات الزينة مثل الجلاديولاس gladioli وزهرة البانسية pansies وازهار الحائط wallflowers . ومن اشهر الازهار التى تصاب بهذا المرض الزنابق (التيوليب)، tulip اذ يسبب المرض ظهور الوان متباينة فى الغلاف الزهرى perianth (شكل : 20ـ22) والغريب ان بعض اصناف الزنابق المبرقشة تزرع منذ القدم ولكن مع ذلك لم يظهر اى ضعف فى شدة اصابتها . وفى اصناف اخرى تضعف شدة الاصابة سنة الى اخرى ومن ثم تختفى تماما خلال 3 الى 5 سنوات . كانت هذه الحالة تعتبر عادية فى زمن ما ، لذا كانت اصناف الزنابق (التيوليب) تسمى باسماء مستنبطيها وتباع باسعار مرتفعة ، وذلك لالوانها المتموجة والمختلفة . ولكن الفيروسات المرضية المسببة لهذا التبرقش سريعة الانتشار ايضا ، اذا ما قطفت الازهار السليمة مع المصابة فى نفس الوقت .



شكل (20 ـ 21) فسيفساء البطاطس (برقشة البطاطس) . (إلى اليسار) ورقة عادية (سليمة) . (إلى اليمين) ورقة مصابة لاحظ تجعد الأوراق وخصوصا سطوح الأوراق الصغيرة .

شكل (20 ـ 22) زنبقة : تيولب) رمبراندات Rembrandt . ويظهر فيها تكسر اللون نتيجة لإصابة فيروسية

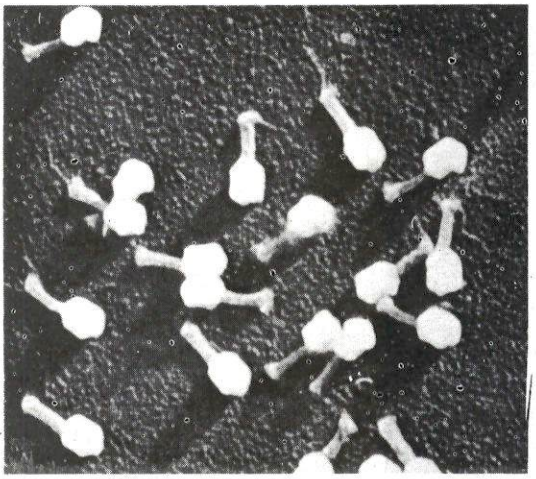


معظم الامراض الفيروسية شديدة العدوى ويسهل نقلها من المضيف المريض الى آخر معافى . اجريت دراسة طرق نقل العدوى بعناية بالغة ، لصلتها الشديدة بطرق منع حدوثها . يحتل الناموس مكانا هاما من بين العوامل المساعدة على نقل الفيروسات الحيوانية من انسان مريض الى آخر معافى ، او من بعض الحيوانات التى تعمل كمستودع للعدوى . فالحمى الصفراء وحمى الضنك (ابو الركب) والالتهاب الدماغى الذى يصيب الخيل equine encephalitis تنتشر جميعها بهذه الطريقة . اما داء الكلب فينتقل خلال الجرح فقط عن طريق عضة الكلب او الحيوان المصاب عادة . تنتشر الكثير من الفيروسات بالملامسة او الرذاذ المنتشر فى الهواء .

وتتعدد طرق انتشار الفيروسات من نبات الى آخر . ففى ظل ظروف المختبر يمكن نقل الفيروسات بتطعيم اجزاء مصابة فى نباتات سليمة ، او بواسطة دعك عصارة النباتات المصابة على اوراق نباتات سليمة ، او ربما يحدث انتقال العدوى عن طريق حشرات تحط على نباتات سليمة بعد تغذيتها من نبات مصاب . اما فى الظروف الطبيعية فتعتبر الحشرات من الوسائل الشائعة لانتشار المرض خصوصا تلك التى لها ممصات مثل حشرة المن aphids والحشرة النطاطة leafhoppers والحشرة المغبرة mealybugs والذباب الابيض whiteflies والتربسة thrips. أما النقل الآلى مثل دعك الاوراق ببعضها فيعتقد حدوثه ايضا. يعتبر فيروس برقشة أوراق التبغ مثله مثل الكثير من الفيروسات عالى الثبات، ولايقضى عليه اثناء عملية شفاء النبات. فأصابع المدخنين ربما تتسبب فى نقل العدوى الى المحصول السليم من الطماطم او التبغ اذا كانوا من المشتغلين به واذا كان ماذخنوه مصابا. تبقى الجسيمات الفيروسية ذات مقدرة على العدوى حتى اذا كانت موجودة فى أوراق التبغ المجفف المخزونة لمدة تزيد عن 50 سنة ولمدة أسبوعين، اذا تواجدت هذه الجسيمات فى الملابس. وتقاوم الجسيمات الفيروسية الغليان لمدة عشر دقائق. والقليل من الفيروسات يمكن أن تحمله البذرة، ولحسن الحظ لايحمل الكثير منها بالبذرة، ويسهل انتشار هذه الفيروسات بالتكاثر الخضرى كما يحدث فى البطاطس او فى اشجار الفاكهة.

الفيروسات البكتيرية: The Bacterial Viruses

من بين الفيروسات التى تلاقى اهتماما بالغا، تلك التى تهاجم البكتيريا. ولقد كشف عن هذه الانواع بصورة منفصلة اثنان من العلماء ـ أحدهما انجليزى والآخر فرنسى وذلك فى عامى 1915 و 1917، الا أن العالم الاخير هو الذى سماها ملتهم البكتريا (بكتريوفاج) bacteriophage وعادة ماتختصر الى الملتهم phage. وبدءا من عام 1940 أحرز تقدم ملموس بالنسبة لمعرفة الملتهمات وعلاقتها بالبكتيريا المضيفة. وأغلب هذه الدراسات كان قد أجرى على بعض السلالات من الفيروسات البكتيرية التى تهاجم سلالة وحيدة من بكتيريا القولون العصوية. وأسهمت هذه المعلومات

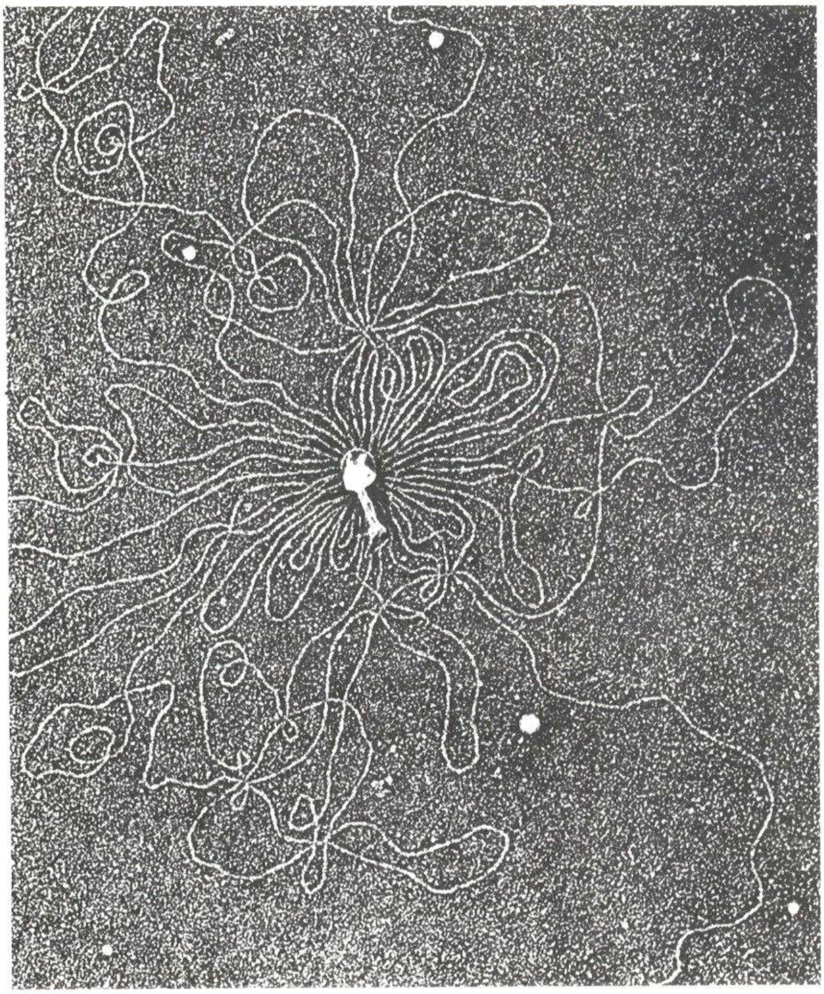


شكل (20 ـ 23) صورة بالمجهر الالكترونى لبكتريوفاج يصيب بكتريا القولون العصوية ، سلالة T2 (تكبير 21,000 مرة)

إسهاما بارزا فى فهم الآليات الوراثية على المستوى الجزيىء ليس فقط بالنسبة للملتهمات او غيرها من الفيروسات ولكن ايضا بالنسبة الى الكائنات الاخرى.

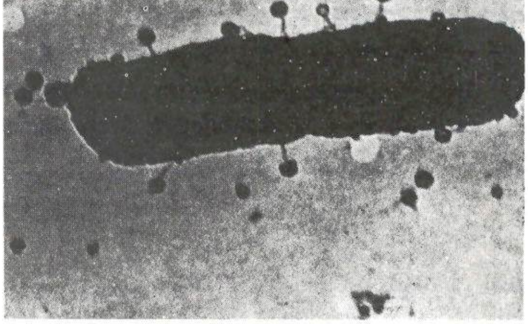
تتمتع الملتهمات بأغلب خصائص الفيروسات الاخرى، الا أنها تختلف فى شكلها الخارجى. اذ تتخذ نمطا يشبه فرخ الضفدعة (ابو ذنيبه) tadpol رأسه كبير ومتعدد السطوح وذيله اسطوانى الشكل تتصل به ست شعيرات ذيلية (شكل 20 ـ 16 و 20 ـ 23). ربما يكون الذيل بارزا وواضحا أو شديد القصر ولكنه لايكسب الفيروس المقدرة على الحركة. كشفت تجارب النظائر المشعة عن تركز الـ DNA فى قسم الرأس، وانه محاط بغمد بروتينى وتركيب الذيل بروتينى ايضا. ويعتقد ان الـ DNA يتألف من جزىء واحد كبير على شكل خيط مزدوج منغلق على نفسه single, closed, double - stranded macromolecule، يصل طول الجزىء الى 50 ميكرونا ويشغل حيز الرأس تماما (شكل 20ـ24).

عندما تمزج ملتهمات البكتريا السامة بمعلق من البكتريا سريعة التأثر تتلامس الجسيمات الفيروسية مع الخلايا

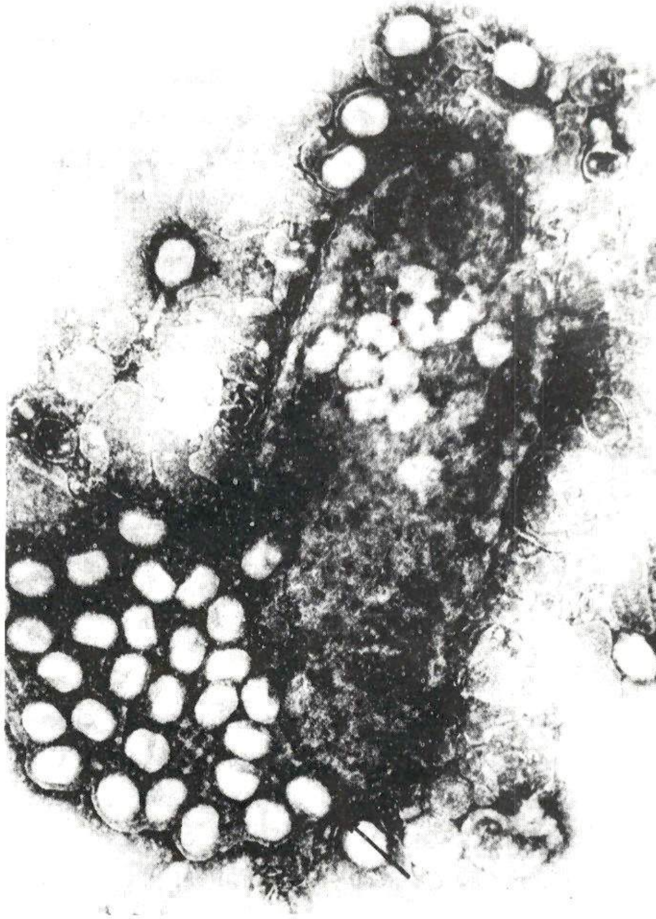


شكل (20 ـ 24) الجزىء الكبير الـ DNA البكتريوفاج من السلالة الثانية T2 ، تحرر من راس الفيروس بالصدمة الازموزية يظهر فى الصورة طرفا شريط أل DNA فى أعلى وسط الصورة وركنها الأيمن الأسفل وربما يكون السبب ظهور هذين الطرفين الحرين هو انقطاع شريط الـ DNA المغلق أثناء الاعداد (تكبير 64,000 مرة)

شكل (20 ـ 25) صورة بالمجهر الالكترونى لسلالة Ts لبكتريوفاج التصق بخلية من خلايا البكتريا المضيفة وكانت بكتريا القولون العصوية (Esherichia) ، مضت 10 دقائق بعد التقيد بدرجة حرارة 37 مْ (تكبير 26720) .



البكتيرية. تنحصر اولى مراحل العدوى فى ارتباط ملتهم البكتريا بذيله أولا بموقع خاص من جدار الخلية (شكل 20 ـ25) يتم التوصل الى ذلك نتيجة التجمع السطحى لشعيرات الذيل على جدار الخلية. ويبدأ احد الانزيمات، الذى يحمله الذيل، فى هضم الجدار عند نقطة التماس الجدار وهنا يقذف الرأس بخيط الـ DNA الى خلية المضيف عبر الحيز الاسطوانى الموجود فى الذيل ويبقى الرأس البروتينى والذيل الفارغان مرتبطين بجدار الخلية من الخارج، وبعد فترة تبلغ نصف الساعة فى المتوسط (تسمى بالفترة الكامنة Latent period). تتحلل خلية البكتريا فجأة (تنحل lysis) ومن ثم يتحرر منها عدد من جسيمات ملتهم البكتريا phage

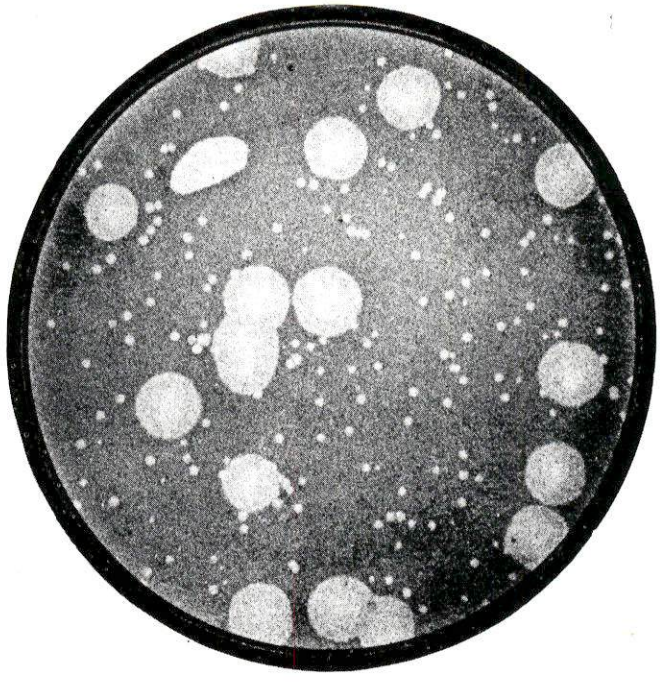


شكل (20 ـ 26) تحلل غير كامل حدث فى بكتريا القولون العصوية بعد إصابتها بواسطة البكتريوفاج . لاتزال بعض البكتريوفاجات موجودة داخل جدران الخلية المضيفة ، بينما يظهر البعض الآخر خارج الخلية الأصلية ولكنها لا تزال حبيسة الغشاء الخلوى أما البكتريوفاجات الحرة فيحمل خروجها من خلايا أخرى تحللت لاحظ السهم (على اليمين من أسفل) ويشير إلى الغشاء الخلوى (تكبير 40000 مرة) .

particles الناضجة الجديدة، يتراوح عددها من 30 ـ 100 او حتى اكثر (شكل 20 ـ 26).

تستحوذ آلية تكاثر ملتهم البكتريا اثناء الفترة الكامنة على اهتمام كبير، وبذلك فقد درست باستفاضة، الا اننا سنكتفى هنا بعرض خطوطها العريضة. اذا ما فتحت الخلايا خلال فترة لاتزيد عن 12 دقيقة تقريبا بعد العدوى فلن نعثر على جسيمات ملتهم البكتريا ولكن اذا مافتحت الخلايا بعد فترات متقطعة تزيد عن ذلك فاننا نجد أعدادا متزايدة من الجسيمات البالغة، الى أن نصل الى الفترة التى تتحلل الخلية المضيفة بعدها. يحدث نشاطان مهمان على الاقل داخل الخلية المضيفة بصورة اجبارية: (1) زيادة انتاج الـ DNA لملتهم البكتريا، ممايؤدى الى ضمان تزويد كل جسيم جديد بجزىء DNA؛ (2) تخليق بروتين ملتهم البكتريا الجديد الذى تنشأ منه الرؤوس والذيول لجسيمات ملتهم البكتريا الجديد. يتم كل ذلك من قبل الـ DNA والذى يتحكم فى آلية التحول الغذائى للخلية «مستعيرا» اثناء ذلك انزيمات المضيف ومواده. وعلاوة على ذلك يتم تكوين انزيمات جديدة معينة من قبل الخلية البكتيرية ووفق أوامر المعلومات التى يحملها الـ DNA الفيروسى، ومن هنا تقوم الخلية المذكورة بتخليق الـ DNA لملتهم البكتريا بدلا من البكتيرى، كما تتجمع الاحماض الامينية مكونة بروتين ملتهم البكتريا بدلا من البروتين البكتيرى، وماذكرناه هو من العمليات الكيموحيوية المعقدة. أضف الى ذلك ان الخلية المضيفة تجبر على تزويد التفاعلات المذكورة بالطاقة اللازمة وقبيل انقضاء الفترة الكامنة تكون كل مكونات ملتهم البكتريا قد تجمعت، كما أن جزىء الـ DNA تكثف ومن ثم يلتئم شمله مع بروتين الرأس، ويتصل الذيل وتنتهى مهمة الخلية المضيفة فتتحلل مطلقة سراح جسيمات ملتهم البكتريا.

ويمكن ملاحظة تأثيرات عدوى البكتريا بملتهم البكتريا بالعين المجردة بعملية بسيطة ولكن عالية الاهمية اثناء دراسة الفيروسات البكتيرية، وتسمى باختيار الصفيحة plaque assay. وتتلخص هذه العملية فى اخذ طبق زجاجى يحوى طبقة جامدة من الآجار الغذائى يعد مسبقا، يضاف الى الطبق طبقة رقيقة من الآجار المنصهر تحوى اعدادا كبيرة من البكتريا المضيفة سريعة التأثر. وحجما معلوما من معلق مخفف للغاية من ملتهم البكتريا (البكتريوفاج). تترك طبقة الآجار العلوية الرقيقة لتتخثر ومن ثم يحضن الطبق بما فيه. تنمو البكتريا نموا مزدهرا وعلامة هذا ان تنتشر مستعمراتها كثيرا بما يغطى السطح كله عدا عدد من البقع الواضحة الصفائح (شكل 20ـ27). تقوم جسيمات البكتريوفاج الموجودة فى المعلق بغزو البكتريا المجاورة وتتحلل الاخيرة منتجة محصولا جديدا من ملتهمات البكتريا، وبالتالى



شكل (20 ـ 27) صفائح البكتريوفاج الشرح فى النص

تقوم الاخيرة بمهاجمة البكتريا المجاورة لها وهكذا دواليك. ويظهر ذلك فى أن البقع تتسع حثيثا حتى يصل قطرها الى بضعة ملليمترات وربما تتفاوت الاخيرة حجما ومظهرا حسب نوع البكتريوفاج والبكتريا المضيفة. وتشير الأدلة المتجمعة من مصادر عديدة، أن كل صفيحة plaque تأخذ بالتكون من جسيم واحد من البكتريوفاج، بما يشبه كثيرا نمط المستعمرة البكتيرية التى تتكون من خلية واحدة. يمكن الان اللجوء الى عدد الصفائح وحجم المعلق ونسبة تخفيفه من اجل حساب عدد الجسيمات الفيروسية فى المعلق الاصلى.

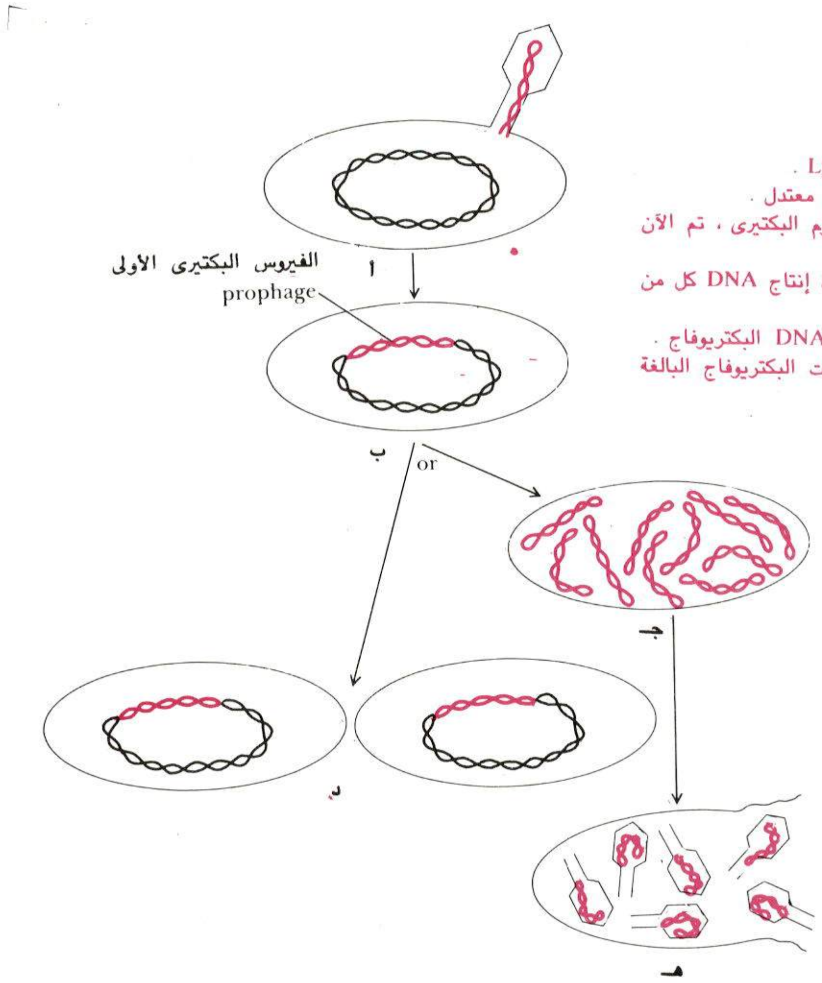
هناك أنواع عديدة من البكتريوفاج تختلف فى حجم الجسيم وتنوع المضيف وغيرها، ويتراوح حجمها من 10 الى 200 ملليمكرون. ولايوجد نوع واحد من البكتريوفاج قادر على مهاجمة كل انواع البكتريا، فالبكتريوفاج النشيط ضد بكتريا الديسنتاريا العصوية، على سبيل المثال، لايهاجم بكتريا الستافيلوكروية والعكس صحيح. تتواجد البكتريوفاج فى الطبيعة حيثما كثر عدد البكتريا مثلما فى التربة والمياه الملوثة والمواد المتفسخة المتعددة الانواع. وليس محتملا مع ذلك، ان يحدث فى الطبيعة القضاء جماعيا على البكتريا مثلما يحدث فى أنبوبة الاختبار. لقد بذلت جهود مكثفة بعد اكتشاف البكتريوفاج، وفى عام 1920 على وجه الخصوص، فى سبيل ابراز إمكانية استخدام البكتريوفاج فى الطب العلاجى ولكن لم تثمر الجهود كما لم تحدد الاسباب تحديدا نهائيا.

وللبكتريوفاج أهمية عملية معتبرة فى الصناعات التى تستخدم فى البكتريا فاذا ماتصورنا مهاجمة البكتريوفاج لمزارع البكتريا المستخدمة فى عملية التخمير او فى تصنيع الالبان، يكون على المصنع التخلص منها فى الحال، وفرض نظام وقائى على المصنع للتخلص من البكتريوفاج. كما تهاجم البكتريوفاج ايضا الاكتينومايسيتس المستغلة فى انتاج المضادات الحيوية.

الملتهمات (البكتريوفاج) المعتدلة: ***Temperate phages***

للتو فرغنا من دراسة البكتريوفاج التى تحلل خلايا مضيفها بعد الاصابة بوقت قصير، مع تحرر جسيمات معدية إثر ذلك. ويمكن تسمية هذا النوع بالبكتريوفاج شديدة العدوى Virulent phages او غير المعتدلة intemperate. ومن ناحية ثانية وجد فى بعض سلالات البكتريا وبعض سلالات البكتريوفاج ايضا ان خلية البكتريا يمكنها ان تحمل البكتريوفاج وتنقله الى عدة اجيال لها دون ان تتحلل (شكل 20ـ28) وتسمى هذه بالبكتريوفاج المعتدلة temperate. كما تسمى سلالات البكتريا المعنية بسلالات التحلل الجينى lysogenic كما تسمى البكتريوفاج الموجودة فى هذه الحالة، اى حالة عدم القدرة على العدوى والتى تبقى فيها ضمن الخلايا المتحللة جينيا باسم البكتريوفاج الأولية prophage. ولاتتكاثر البكتريوفاج الأولية مستقلة، على خلاف البكتريوفاج المعدية، اذ تقتحم جزىء الـ DNA الكبير فى الخلية المضيفة وتشكل جزءا لايتجزأ منه وتستنسخ فى داخله (20 ـ 28 أ،ب،جـ).

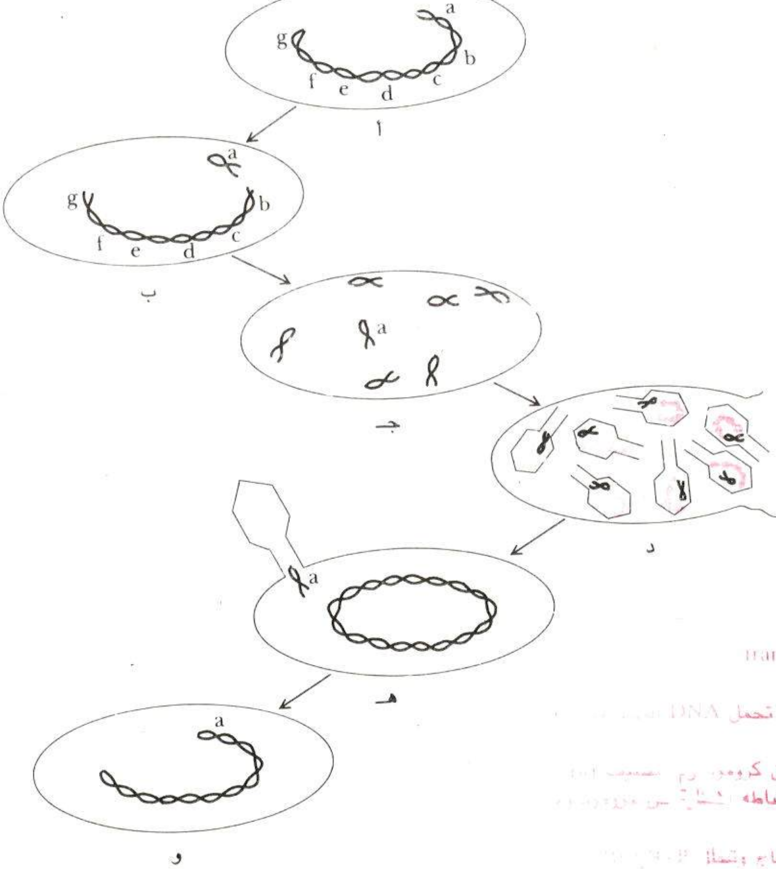
وبالمناسبة نذكر ان هناك بعض الافراد من مجموع بكتريا التحلل الجينى تقع مع ذلك تحت طائلة التحلل، مطلقة العنان



شكل (20 ـ 28) التحلل الجينى Lysogeny .
أ ـ عدوى خلية حساسة من قبل بكتريوفاج معتدل .
ب ـ دخول DNA البكتريوفاج إلى الكروموسوم البكتيرى ، تم الآن التحلل الجينى للخلية المضيفة .
جـ ـ الخلية المتحللة جنينيا تنقسم الآن معيدة إنتاج DNA كل من البكتريا والبكتريوفاج الأولى prophage .
د ـ تولد القدرة على العدوى واعادة إنتاج DNA البكتريوفاج .
هـ ـ اتحاد DNA البكتريوفاج مكونا جسيمات البكتريوفاج البالغة وتحلل الخلية .

لجسيمات معدية ممايسبب بطبيعة الحال قتل الخلايا (شكل 20ـ28 د،هـ) ان تولد induction القدرة على العدوى ينتج عن انفصال البكتريوفاج الاولى من كروموسوم المضيف. فجينات البكتريوفاج التى تمت السيطرة عليها فى الطور الاولى تبدأ الآن فى قيامها بوظائفها، مطلقة اشارة البدء فى تكوين DNA البكتريوفاج وكذلك بروتينه . يمكن من هنا ملاحظة تشابه دورة البكتريوفاج الاولى ـ البكتريوفاج مع حالة التزاوج التى توجد فيها الابيسومات episomes، طليقة أو متكاملة مع الكروموسوم البكتيرى، يمكن الاكثار من عدد الخلايا البكتيرية المولدة والتى تقع تحت طائلة التحلل بمعالجات خاصة، مثل التعريض للاشعة فوق البنفسجية لفترات قصيرة.

ان خلايا البكتريا المتحللة جينيا ضمن المزرعة والتى أنتجت البكتريوفاج المعدية تكون محصنة ضد هجمات الجسيمات المعدية، تلك التى تعدى السلالات البكتيرية الحساسة. ويتحلل بعض أفراد مثل هذه السلالة خلال فترة قصيرة نسبيا، بينما لاتتعرض اخرى الا لفعل التحلل الجينى، بمعنى أنها تبقى مضيفة للبكتريوفاج فى شكل غير معد عبر عدة أجيال من الخلايا. ولقد جرت مقارنة سلوك البكتريوفاج المعتدلة هذه بالحالة الشائعة التى يقع فيها



شكل (20 ـ 29) التحويل transductiom

أ ـ السلالة (ب) ، وهى خلايا متحللة جينيا تحمل DNA [illegible]
فى حالة البكتريوفاج الأولى (ملونة) .
ب ـ انفصال البكتريوفاج الأولى مع جزء من كروموسوم [illegible]
جـ ـ استنساخ DNA البكتريوفاج مع ارتباطه [illegible]
المضيف .
د ـ توحيد الـ DNA داخل راس البكتريوفاج [illegible]
هـ ـ عدوى السلالة (أ): (الخلية المستلمة) التى [illegible]
من DNA الخلية المانحة .
و ـ تغلغل DNA الخلية المانحة الى كروموسوم الخلية [illegible]
يحدث اعادة ترتيب الجينات .

كائنان حيان متعايشان فى علاقة المضيف المتطفل. أفضل الطفيليات تأقلما من وجهة نظر القدرة على الحياة وتكاثر النوع، يكون ذلك الطفيلى الذى يتعايش ومضيفه فى حالة توازن بمعنى ان الطفيلى يستهلك القدر الكافى من مواد ينتجها المضيف كى ينمو الطفيلى ويتكاثر ولايقتل مضيفه.

التحويل: *Transduction*

لقد أرسينا الآن دعائم المفاهيم الاساسية اللازمة لاستعراض عملية التحويل (شكل 20 ـ 29) والتى ذكرناها آنفا فى بداية هذا الفصل كاحدى الطرق التى تحدث بها اعادة ترتيب الجينات فى البكتريا فى غياب التكاثر الجنسى. يحدث أثناء التحويل عملية انتقال الجينات من الخلايا المانحة الى المستلمة ويتم هذا التحويل بواسطة جسيمات البكتريوفاج. وقد اكتشفت هذه الآلية عام 1952، باستخدام عمليات تجريبية تشابه تلك التى طبقت اثناء اكتشاف التزاوج. فلقد استعملت سلالتان طفريتان من السلمونيلا salmonella، سنسمى احداهما السلالة (أ) انعدمت فيها القدرة على تكوين ثلاثة احماض امينية ضرورية، والسلالة

الثانية سنسميها السلالة (ب) لم تكن لها القدرة على تخليق حامضين امينيين آخرين. وبعد إنماء السلالتين فى محيط يحتوى على الإحماض الامينية الناقصة، ووسط يحوى أملاحا معدنية وكربوهيدرات نمت نواتج إعادة الترتيب الجينى فى هذا الوسط أى أن نواتج إعادة الترتيب الجينى اصبحت قادرة على تخليق كل مايلزمها من الاحماض الأمينية.

إن مثل هذا التلامس بين الخلايا ومن ثم تزاوجها لم يكن ضروريا لاحداث هذا التبادل الجينى ، ولقد وضح ذلك بالتجربة التالية : وضعت السلالتان سويا فى نفس حيز المزرعة ومنفصلتين بواسطة مرشح نفاذ للوسط الغذائى وغير نفاذ لخلايا السلمونيلا وبعد بضع ساعات لوحظ ظهور نواتج اعادة الترتيب الجينى ولكن فى جانب المرشح الموجودة فيه السلالة (أ) فقط ، ومن هنا ظهر ان عاملا مساعدا يستطيع النفاذ من المرشح كان هو المسئول عن نقل العوامل الجينية من السلالة (ب) المانحة الى السلالة (أ) المستلمة لقد اوضحت العديد من التجارب ان هذا العامل المساعد لم يكن الـ DNA الحر ، مثلما حدث من انتقال فى بكتريا الالتهاب الرئوى الكروية . قامت احدى هذه التجارب على معالجة العامل المساعد النفاذ بانزيم خاص من انزيمات الـ DNA هو الـ deoxyribonuclease بدون القضاء على نشاطه .

لقد اظهرت الدراسات التالية ان السلالة (ب) كانت من نوع بكتريا التحلل الجينى تحمل فى طياتها بكتريوفاجات اولية (شكل 20 ـ 29 أ) وان السلالة (أ) كانت حساسة لعدوى من البكتريوفاج الموجود فى السلالة (ب) (شكل 20 ـ 29 ب ، جـ ، د) ويمكن تصور ان شظية صغيرة للغاية من كروموسوم المضيف تحمل على رأس جسيم البكتريوفاج المعدى ، بينما ينتظم الاخير فى محتوى الـ DNA الفيروسى للخلية المضيفة ومن ثم تتسبب جسيمات البكتريوفاج «الملوثة» contaminated فى نقل العدوى الى الخلية البكتيرية المستلمة والمتحللة جينيا (السلالة أ) ، كما ان شظية الـ DNA للخلية المانحة تتحد مع جزىء الـ DNA الكبير لخلية المستلمة مما ينتج اعادة ترتيب جينى جديدة (شكل 20 ـ 29 هـ ، و) .

على الرغم من اثارة الكثير من التساؤلات حول السمات التطورية لآليات اعادة الترتيب الجينى (النقل والتزاوج والتحويل) يبدو معقولا ان نفترض فيها القيام بنفس الدور فى البكتريا مثلما يحدث فى اعادة الترتيب الجينى لوراثة الجنس الذى يلعب دورا فى الكائنات الحية الاخرى ، ان اعادة الترتيب هذه تتولد عنها اختلافات ربما يحدث على اساسها الانتخاب الطبيعى .

الفيروسات والكائنات الحية فى مواجهة دائمة : Viruses versus Organisms

منذ التعرف الاول على وجود الفيروسات تحاج الباحثون عما اذا كانت الفيروسات من الكائنات الحية . فمن جهة انها تتألف من مركبات عضوية منتظمة ذات طبيعة خاصة وكميات محدودة لكل نوع ، وكغيرها من الكائنات البيولوجية الاخرى تنتقل الصفات الوراثية فى الفيروسات بواسطة الاحماض النووية وتتغير وتتكاثر ايضا . ومن جهة اخرى لوحظ ان الجسيمات الفيروسية تصبح خاملة تماما اذا ما عزلت عن مضيفها فى صورة نقية وبذا تفقد الفيروسات فى هذه الحالة كل الصفات التى غالبا ما تعزى الى الحالة الحية . فالفيروسات لا تسلك سلوك الكائنات الحية الدقيقة الا إذا احيطت بالآليات المعقدة الموجودة فى الخلايا الحية . ومن هنا نجد الفيروسات من الطفيليات الاجبارية ولكن مثل هذه الطفيليات الموجودة بين الكائنات الخلوية ، تستطيع ان تواصل عمليات التنفس وكذلك تخليق ولو جزء على الاقل من المواد الضرورية لنموها . وعلى العكس من ذلك نجد ان الفيروسات حتى اذا ما وجدت داخل خلايا المضيف وتعتمد على المضيف فى التزود بالطاقة وسد احتياجاتها من المواد الضرورية للنمو . كما انها مع وجودها داخل المضيف لا تنتج أية انزيمات تنفسية ولا حتى انزيمات مساعدة على القيام بتفاعلات البناء . كما تختلف ايضا عملية تكاثرها التى تتم داخل المضيف عن عمليات التكاثر الجارية فى غيرها من الكائنات الحية فالجسيمات الفيروسية لا تنمو وتنقسم كالذى يحدث فى الكائنات الحية والتى تتكون دائما من خلايا موجودة اصلا . فى الوقت الحالى يبدو ان خير تعريف للفيروس هو انه جسيم لا خلوى متناهى الدقة ultramicroscopic ، يتألف من مادة عضوية تحوى نوعا واحدا من الاحماض النووية . ولا يستطيع التكاثر الا داخل الخلايا الحية . ومن جهة نظر عملية بحتة يستوى لدينا امر الفيروسات ان كانت من الكائنات الحية ام لا . فهناك الكثير من الزوايا حيث تتصرف ككائنات حية دقيقة ومن هذه الاعتبارات نتعامل مع الفيروسات على انها كائنات حية دقيقة .

الخلاصة summary

1 ـ يصنف البعض البكتريا بوصفها من البروتستا protista ، بينما يصنفها الآخرون كنباتات ويضعوها ضمن الثالوسيات وملاصقة للفطريات .

2 ـ الخلية البكتـريـة خلية بـروكـاريـوتيـة procaryotic فعضياتها غير organelles محاطة باغشيـة كما تخلـو الخلية من الميتوكوندريا وتخلو ايضا من آلية الانقسام الفتيـلي يتألف جسمهـا النووي من جـزيء كبـير للـDNA شريطي مـزدوج مغلق وهو المكافىء الجيني لنواة الكائنات الحية الاخرى .

3 ـ يتم التكـاثر الخضري في البكتـريـا بـواسطـة الانشطـار العرضي ، ولا يكون نشؤ السبورات وسيلة للتكاثر غير انه يعتبر من وسـائل مقـاومة الكـائن الحي لدرجـات الحرارة العـاليـة والجفاف الشديد وغيرهما من العوامل البيئية غير الملائمة .

4 ـ لم يكشف عن وقـوع التكاثـر الجنسي في البكتريـا ، ولكن ربمـا يحدث فيهـا اعادة تـرتيب الجينات بـواسطـة الانتقـال والتزاوج أو التحويل .

5 ـ تدرس الكائنـات الحية الـدقيقة في مـزارع نقية تنمـو على وسط ربما يكون سائلا او صلبا .

6 ـ تكون البكتريا اما ذاتية التغذية . او غير ذاتية التغذية اما الانواع ذاتية التغذية منهـا فتستخدم مثـل النباتـات الراقيـة الكـربون من ثـاني اوكسيده ، اثنـاء تخليق المواد الخلـوية . وبعضهـا ، وتسمى بذاتية التغذية الضوئية يحصل على الطاقة الـلازمة من اشعـة الضـوء ، بينمـا يتحصـل البعض الآخـر ويسمى ذاتي التغذية الكيميائية على هذه الطـاقة من أكسـدة المركبات اللاعضوية . تتحصل الانواع غير ذاتية التغذيـة على ما يلزمها من كربون وطاقة من اكسدة المركبات العضوية .

7 ـ تتمتـع بعض انواع البكتـريـا بـالقـدرة عـلى تخليق كـل المركبات العضوية اللازمة لنموها اذا ما زرعت في وسط غذائي بسيط يحوي السكريـات والعناصر الضروريـة . يفتقر البعض الآخر الى المقدرة عـلى بناء عـوامل نمـو معينة مثل الاحماض الامينية والفيتامينات ويكون لزاما عليه الحصول على ما يلـزمه من البيئة المحيطة .

8 ـ تقوم البكتريا بالعديد من انواع التخمر . ويعتبـر حامض اللاكتيك قاسما مشتركا بين نواتـج تخمير السكـريات . يمكن تخمير الاحماض الامينية ايضا وينشأ عن ذلك تكـون احماض عضوية وامونيا وهيدروجين وثاني اوكسيد الكربون .

9 ـ تعتبـر بعض انواع البكتـريا من الهـوائيـات الاجبـاريـة ويعتبر البعض الآخر من اللاهوائيات الاجباريـة بينما غـالبية انواع البكتريـا تدخـل ضمن اللاهـوائيات الاختيـارية تقـوم مجموعة صغيرة من البكتريا بعملية تنفس لاهوائي حقيقي .

10 ـ تتضمن متطلبات نمو البكتريا بجانب المركبات العضوية بوصفها مصدرا للطاقة ومواد البناء ايضا الرطوبـة والعناصر الضرورية والاوكسجين (للانواع الهوائية) ، ودرجات الحرارة المناسبة .

11 ـ تشخص البكتريا من خلال مجمل سمات في الشكل العام وسلوك فسيولوجي في مزارعها النقية .

12 ـ تعتبر الحرارة طريقة هامة للتحكم في البكتريا فبينما لا يتمكن الغـلي من قتـل السبـورات نجـد ان البخـار المضغـوط كالمستخدم في المعقام ، يستطيع القضـاء على هـذه السبورات بجانب قضائه على خلايا البكتريا الخضرية .

13 ـ يجب القضاء على الكائنات الحية الدقيقة او تثبيط نموها اذا ما اريد حفظ الطعـام . يمكن التوصـل الى هذا بطـرق عدة من بينها التبريد والتجفيف والتسخين (مثل الذى يجـرى عند التعليب) وبـاستخدام مـواد حافظـة مثل السكـر والاحماض والمضادات الحيوية .

14 ـ يمكن تعليب الطعـام تحت درجة الغليـان او باستخـدام البخـار المضغوط يتـوجب تعليب الأطعمة المتعـادلة او خفيفـة الحموضة بالبخار المضغوط وحده . اذ ربمـا تنجو السبـورات السـامـة من الهـلاك بعـد تعليب الاطعمـة ذات الحمـوضـة المنخفضة بطريقة الغلي وحده .

15 ـ تتمكن عملية البسترة من قتل البكتريا المسببة لانتشـار الامراض اذ ان هذه الانواع لا تنشىء سبورات في العادة .

16 ـ تنتج البكتريا المسببة لامراض الانسان والحيوان نوعين من التوكسينات : التـوكسين الخـارجي والتوكسـين الداخـلي ويختلف النـوعان من حيث تـركيبهـا الكيميـائي وقـابليتهمـا للذوبان .

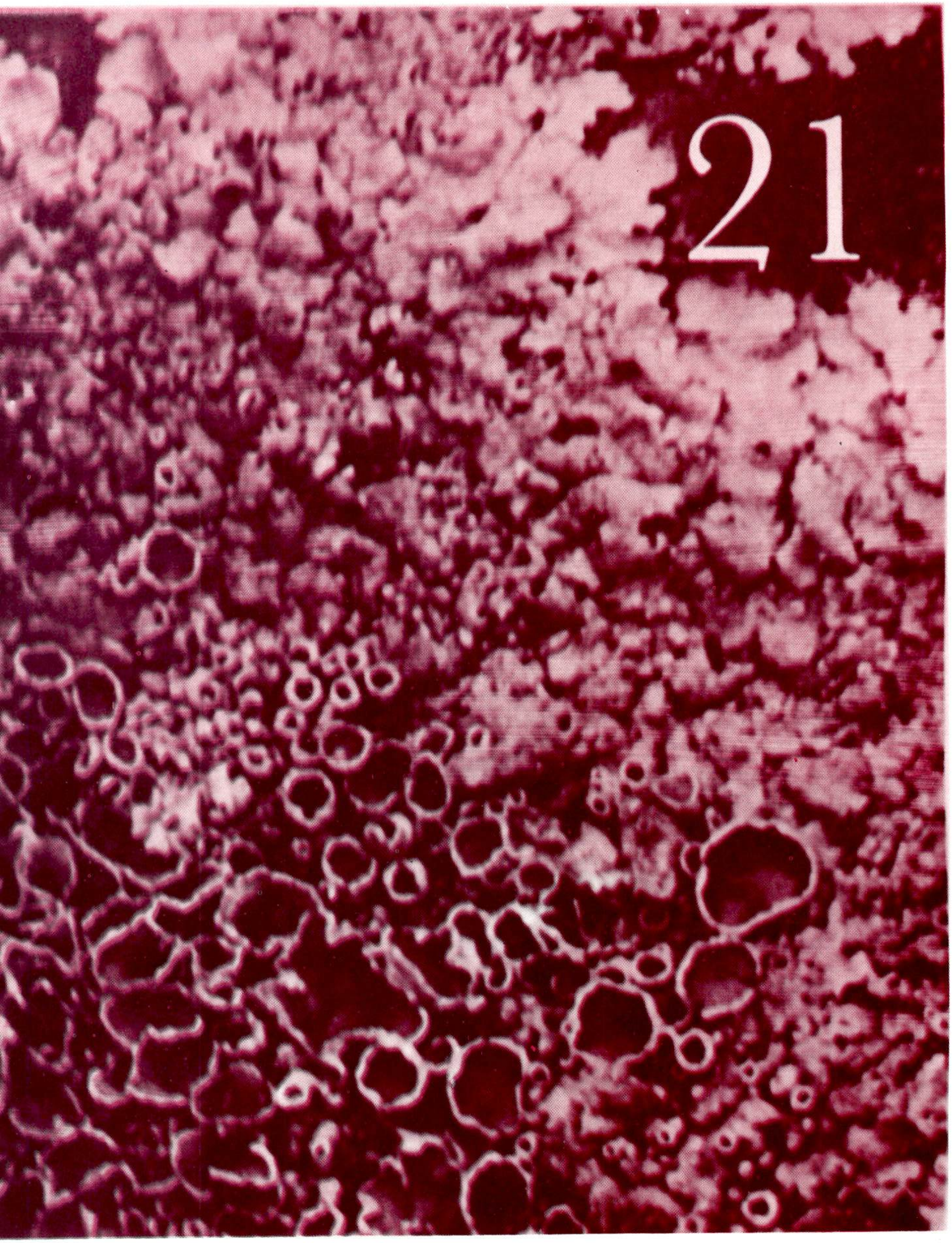
17 ـ معظم الامراض المحمولة في الاطعمة سببها بكتيري واهم هـذه الانواع هي البكتـريا الستـافيلوكـروية وبكتـريا تسميم الطعام الفاسـد وبكتريـا السلمونيـلا لافساد الطعـام . يمكن القضاء على التوكسين الخارجي للكائنات الحية المسببة لتسمم الطعام بواسطة الغلي .

18 ـ اهم المضـادات الحيـويـة في التصـدي للكبتـريـا يمكن استنبـاطهـا من البكتـريـا ذاتهـا ومن الاكتينـومـايسيتس والاعفان .

19 ـ تعتبر الفيروسات جسيمات عضـوية لا خلـوية متنـاهية الـدقة تتميـز بتكاثـرها داخـل الخلايـا الحية فقط . تحتـوى الفيروسات على واحد فقط من الاحماض النووية اما الـDNA أو الـRNA تتكون معظم الفيروسات من مجرد عمد بروتيني يحيط بقلب core من الحامض النووي . لا تنتج الفيروسـات أية انـزيمـــات تنفسيـــة او بنائيـة ، لذا تكون عالـة عـــلى الخلية المضيفـــة فيمـا تحتاجـه من طاقـة ومواد نمو . لا تتشابه طريقة تكاثـر الفيروسـات مع مـا يحدث اثنـاء تكـاثر الخـلايا . فبعض ملتهمـات البكتريـا (البكتريـوفـاج) والمسمـاة بغير المعتـدلة تسبب تحلـل الخلايـا المضيفـة فـور العـدوى مباشرة والبعض الآخـر ويسمى بـالبكتـريـوفجـات المعتدلة ، تسكن خلايا المضيف لعدة اجيال خلوية وفي صـورة غير معدية تسمى هذه الحالة بحالة التحلل الجيني lysogeny

الفطريات : الفطريات الطحلبية ، الفطريات الكيسية ، والاشنات

Fungi , Phycomycetes , Ascomycetes , Lichens


21

الفطريات : الفطريات الطحلبية ، الفطريات الكيسية ، والاشنات
Fungi , Phycomycetes , Ascomycetes , Lichens

تكون الفطريات مجموعة كبرى من النباتات ، فلقد تم وصف الآلاف العديدة من انواعها ويزداد طول قائمة الانواع سنة بعد اخرى . يتمشى العدد الهائل من الانواع مع الاهمية الكبرى التى تتمتع بها الفطريات فى حياة الانسان . ولا غرو ، اذ تعتبر الفطريات ـ هى والبكتريا من العوامل الرئيسية المساعدة على التحلل ، وبهذا تلعب دورا رئيسيا فى تغذية النباتات الخضراء من خلال تحليلها للمواد العضوية . وعلاوة على ذلك تستخدم بعض صنوف الفطريات كغذاء ، وللبعض الآخر تطبيقات طبية ، بينما تستخدم انواع اخرى فى العمليات الصناعية . وتتسبب بعض الفطريات فى اصابة الانسان وغيره من الحيوانات بالامراض ولا تعفى النباتات من ذلك ايضا .

تكتسب الفطريات اهمية اقتصادية عظمى وذلك لدورها كمسببة لامراض النباتات فالولايات المتحدة على سبيل المثال تنفق مئات الملايين من الدولارات سنوياً فى انتاج سوائل الرش ومساحيق التعفير اللازمة لشن حرب مقاومة الفطريات المعادية للمحاصيل النباتية كما تنفق اموالاً اكثر على اغراض تربية السلالات النباتية ذات القدرة على مقاومة الفطريات .

ويكون حل المعضلات ذات الصلة المباشرة وغير المباشرة بالفطريات هو الشغل الشاغل لجيش جرار من العلماء فى محطات البحوث الزراعية والجامعات والمختبرات الصناعية . يدخل من ضمن هذه المعضلات معالجات البذور وانواع الترب ، ومعالجة الاخشاب والانسجة وغيرها من المواد الاخرى . وطرق انتاج المحاصيل وغيرها من الممارسات الزراعية ، وفعالية التفتيش والحجر الزراعى وغير ذلك من سبل الوقاية . وتعتبر خطورة الفطريات على النباتات افدح من اضرار البكتريا على الانسان .

ربما يؤمن رجل الشارع باهمية الفطريات بالنسبة لحياة المشتغلين بالزراعة وشئون العاملين فى الغابات ليس الا . ولكنه يعانى دون ان يشعر بوصفه مستهلكا ، الخسائر التى تسببها امراض الفطريات للنبات ، ذلك لانه يدفع ثمن ما ينفق من جهود فى سبيل مقاومة هذه الامراض . اذ تعنى امراض النبات زيادة فى اسعار تكلفة الغذاء والكساء والمأوى للانسان ، ولا يعفى من ذلك احد . ولتصوير ذلك ، علينا ان نذكر ان مقدار الفقد فى غابات الولايات المتحدة الامريكية من جراء التحلل وغيره من الامراض يبلغ سنويا 7 مليارات من

الامتار من الواح الخشب ـ وهى كمية تكفى لرصف طريق عرضه 106 كيلو متر يصل بين مدينتى نيويورك وسان فرانسيسكو . كما ان الفطريات تؤثر تأثيرا اكثر مما ذكرنا فنجده ـ الانسان ـ يقوم بطلاء مسكنه ليس لحسن المظهر فحسب ، بل لان الطلاء يحمى الخشب من فعل الفطريات فى تفسخ الاخشاب فلو ترك مسكنه الخشبى دونما طلاء لاكتشف بعد فترة النخر الذى يصيب الد عامات الخشبية ولانفق اموالا كثيرة على اصلاحها . وربما اصابت الفطريات مخزنه من الفواكه والخضروات بالتلف ، وربما يجد العفن الفطرى mildew على ازهاره ووروده وقد تصيب خضروات حديقته واشجاره الظليلة بامراض فطرية اخرى . وقد يعانى هو وذووه وحيواناته الاليفة من الامراض الفطرية . يعود للفطريات حوالى 15 فى المائة من اسباب امراض الحساسية التى تصيب الانسان . اذ تزداد اعداد الـ Alternaria وغيرها من سبورات العفن ازديادا كبيرا هى وحبوب اللقاح الخاصة بنبات حشيشة الرجيد (او حمى الحشائش) ragweed ، وذلك فى اواسط واواخر فصل الصيف .

طبيعة الفطريات : The Nature of Fungi

تعتبر الفطريات من النباتات الثالوسية thallophytes ، مثلها مثل الطحالب والبكتريا . وتتميز الفطريات بسمتين هامتين : (1) الفطريات نباتات غير خضراء خالية من الكلوروفيل . (2) من خصائص جسم النبات الفطرى انه يتألف من تراكيب شريطية متشعبة branching filamentus structures ، تسمى بالخيوط الفطرية hyphae . وربما توجد الاخيرة فى تراكيب متشابكة تسمى فى مجموعها بالغزل الفطرى mycelium . تحتوى الخيوط الفطرية على انوية وسيتوبلازم . وقد تكون هذه الخيوط مستمرة (اى غير مفصولة) او مقسمة بجدران عرضية وربما تكون كل قطعة من الخيط الفطرى فى الحالة الاخيرة حاوية لنواة واحدة او اثنتين او عدة انوية . ويكون الكيتين chitin هو المكون الرئيسى لجدار الخلية فى معظم الفطريات . والكيتين عديد السكريات يكون الهيكل الخارجى exoskeleton للحشرات والحيوانات القشرية crustaceans . يوجد السيليولوز فى جدران خلايا بعض الفطريات الدنيا lower fungi ، غير ان غالبية الفطريات تخلو منه . كما عثر ايضا فى جدار الخلية الفطرية على الكالوز callose وهو عديد السكريات ، وكذلك عثر على بعض المواد العضوية الاخرى .

تتكاثر الفطريات بالطرق الخضرية واللاجنسية والجنسية على حد سواء . ومن امثلة التكاثر الخضرى فيها التكاثر بالتجزء (التشظى) fragmentation ، حيث يتكسر الغزل الفطرى الى قطع يكتسب كل منها المقدرة على النمو الى فرد جديد . والمثال الاخر لتكاثر الخضرى هو التبرعم budding مثل الذى يحدث فى الخمائر yeasts . يحدث التكاثر اللاجنسى asexual reproducation عن طريق سبورات لا تتعلق بالنشاط الجنسى . يتنوع التكاثر الجنسى sexul reproduction كثيرا ، على الرغم من انه يتضمن دائما اندماج نواتين احاديتى المجموعة الكروموسومية وكذلك الانقسام الاختزالى meiosis . تشترك السبورات (الاختزالية) (meiospores)، ايضا بالنشاط الجنسى . ففى بعض انواع الفطريات مثل عيش الغراب mushrooms والفطر النفاث puff - balls تولد السبورات داخل او فوق اجسام «ثمرية» fruiting bodies الى حد ما تتكون من تجميع كثيف لاعداد هائلة من الخيوط الفطرية . وفى انواع اخرى من الفطرات تغيب مثل هذه التراكيب المميزة ، وتقترن السبورات بالخيوط الفطرية الخضرية (الجسدية) vegeta-tive (somatic) hyphae .

تتكاثر غالبية الفطريات بالطريقتين الجنسية واللاجنسية على حد سواء . ويكون التكاثر اللاجنسى اهم على وجه العموم من وجهة نظر تتابع الانواع propagation of species . اذ ينتج عن ذلك اعداد كبيرة من الافراد وكثيرا ما تتكرر الدورة اللاجنسية مرات عديدة خلال الفصل الواحد بينما تنتج المرحلة الجنسية فى العديد من الطحالب بصورة حولية فقط .

وبما ان الفطريات خالية من الكلوروفيل ، لذا يجب ان تكون اما مترممة saprophytic او متطفلة parasitic ؛ وتختص بعض الانواع بواحد من هذين القسمين بالنسبة للتغذية فاما ان تكون متطفلة اجباريا ومثالها فطريات الصدأ rusts والعفن الفطرى المسحوق powdering mildews او ان تكون مترممة اجباريا ومثالها العديد من انواع الفطريات اللحمية والكبيرة large and fleshy fungi . ينحصر بين هذين النوعين عدد كبير من انواع العلاقات الغذائية

nutritional relationships ، اذ يمر العديد من الفطريات بطورين تطفلى ورمى فى دورة الحياة الواحدة . بينما تكون انواع اخرى اما متطفلة او رمية .

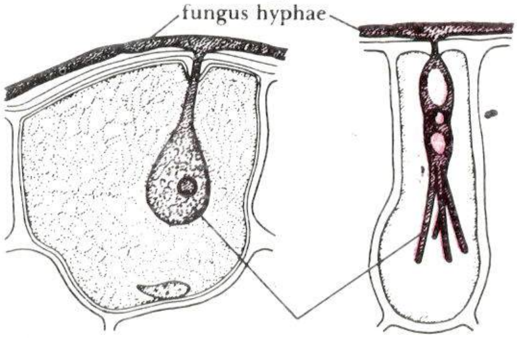
تزدهر الطفيليات فى اية بيئة محيطة تكفل لها السبل اللازمة للنمو . فنجد الطفيليات تنتشر فى التربة وفى بقايا النباتات والحيوانات الحية والميتة على حد سواء وفى المواد العضوية الاخرى مثل الطعام والجلود . ففى المناطق الاستوائية الرطبة مثلا ربما يغطى العفن الاحذية والملابس خلال ليلة واحدة . وتتحصل الفطريات على غذائها من هذه المصادر عبر نشاط انواع عديدة من الانزيمات تتضمن البروتيزات proteases والسليوليز cellulase والاميليز amylase والبكتينيز pectinase . يمكن تنمية بعض الفطريات ، مثلها فى ذلك مثل البكتريا ، فى مزرعة غذائية نقية pure culture on nutrient media . يتأثر نمو الفطريات مثلها مثل غيرها من الكائنات الحية الاخرى بدرجة الحرارة ونسبة الرطوبة ودرجة تركيز الرقم او الاس الهيدروجينى (PH) وتوفر الاكسجين . يعتبر الماء الحر او درجة الرطوبة العالية اساسيا فى اغلب الاحوال لضمان نمو الفطريات ويزدهر نمو غالبية الفطريات عند درجة تركيز الهيدروجين PH تقارب (6) ومع ذلك فبعض الانواع (مثل الرايزوكتونيا Rhizoctonia) تنمو ضمن مجال اوسع لدرجة الـ PH (يتراوح بين 2ـ12) اذا ما قورنت الانواع الاخرى من النباتات والحيوانات . تتفاوت الفطريات فى متطلباتها الغذائية . فهناك العديد منها يستطيع ان ينمو فى المختبر على اوساط غذائية بسيطة تحوى مجرد مصدر كربونى ، مثل الجلوكوز او السكروز والاملاح المعدنية ، التى تضمن مصدرا للنيتروجين . ومن هذه تتمكن الفطريات من تخليق البروتين اللازم وغيره من مركبات النمو ، بما فى ذلك الفيتامينات . هناك انواع اخرى مثل النيوروسبورا ، وهو عفن التربة الوردى neurospora (pink soil mold) ويعتبر كائنا حيا ذا اهمية فى ابحاث الوراثة يتطلب فيتامين البيوتين biotin vitamin اضافة الى ما ذكرنا انفا . كما ان هناك انواعا ثالثة تتطلب فيتامينات اخرى غير البيوتين ، مثل الثيامين thiamine وفيتامينات اخرى .

تعتبر الفطريات من الهوائيات aerobes على الرغم من ان متطلباتها من الاكسجين ربما تكون بسيطة . كما ان الانتاج التجارى من الاحماض العضوية acids والمضادات الحيوية antibiotics من الفطريات يتم بوجود الاكسجين وبذلك يكون مصحوبا بالتنفس الهوائى aerobic respiration . هناك عدد كبير من الفطريات ، بما فى ذلك العديد من انواع الخمائر يستطيع القيام بعمليات التخمير fermentative procosses ، ولكن هذه العمليات تجرى بشرط وجود المادة الخلوية cell material . ولايحدث النمو الا بتوفر كمية ما من الاكسجين الحر .

الفطريات وامراض النبات Fungi and Plant Disease

تبلغ الخسارة السنوية فى الولايات المتحدة الامريكية من جراء امراض نباتات الحقول والحدائق وامراض الكساء الخضرى ومحاصيل الازهار florest crops ومحاصيل المشاتل nursery crops وكذلك اشجار الغابات مايزيد عن 4 بلايين من الدولارات . يقارب تعداد امراض التطفل النباتى التى تسببها البكتريا والفيروسات والديدان الخيطية nematodes حوالى الالف نوع ، غير ان هناك اعدادا تبلغ الآلاف من هذه الامراض سببها هو عدوى الفطريات.وتعتبر الانواع الاخيرة علاقة تطفلية تسبق فيها عدوى النبات المضيف « العائل » عملية اسكان السبورات او غيرها من التراكيب التكاثرية ، ومنها شظايا الغزل الفطرى ، فوق احد اجزاء النبات وغالبا مايكون هذا الجزء هو الورقة . سرعان ماتنبت هذه السبورات اذا ما توفرت درجتا الرطوبة والحرارة المناسبتان ، ومن ثم تتكون خيوط قصيرة تسمى الانابيب الجرثومية germ tubes . تخترق هذه الانابيب جسم النبات المضيف من خلال فتحات طبيعية فيه (مثل الثغور stomats او العديسات lentcels او الثغور المائية nydothodes او من خلال جروح النبات التى تسببها الديدان الخيطية او الحشرات او الانسان او اية عوامل اخرى ، او من خلال الادمة cuticle غير المقطوعة .

تنمو الخيوط الفطرية لبعض الفطريات المسببة للمرض pathogenic داخل المضيف وذلك بين خلايا ه،وقد تدفع اثناء ذلك بخيوط فطرية خاصة تسمى بالمصات haustoria ، تمتص لها غذاءها من الخلايا المجاورة . تتخذ هذه المصات اشكالا عدة ، فقد تكون على شكل ازرار



knoblike وقد تستطيل او تتشعب او تتخذ صورة الجذور rootlike (شكل 21ـ1) . وتشق الخيوط الفطرية لفطريات اخرى طريقها الى خلايا المضيف مباشرة . وسرعان ماتظهر اعراض المرض التى تكون فى العادة مميزة بصورة خاصة تجعل مهمة تشخيص المرض سهلة ميسرة سواء من جانب الاختصاصى او حتى الشخص العادى المحتك ، تتخذ هذه الاعراض اسماء وصفية مثل التقرح canker والذبول wilt والنخر blight والعفن الفطرى mildew وتبقع الاوراق leaf spot والصدأ rust وجرب النبات scab والتفحم smut . ومن بين الاعراض الاخرى التى تواكب الامراض الفطرية المميزة نجد التفاف الاوراق rolling of leaves وتشوه الثمار deformation of fruits وقصر النبات بكامله او تشوه بعض اعضائه وتساقط النورات او الثمار . بل وربما تنخفض كميات الكلوروفيل او تتلف الانسجة الفعالة فى الورقة قد تتسبب الطفيليات فى قتل خلايا جذور النبات فيما ينعكس بطبيعة الحال على مظهر ونشاط اجزاء النبات الهوائية بصورة غير مباشرة . وربما تحفز الخلايا على الانقسام بمعدلات غير عادية مما ينتج انسجة تشبه الاورام tumorlike . وربما تهضم انزيمات الطفيلى مكونات خلايا المضيف . اذا كانت هذه الانزيمات تتمتع بقدرة اذابة المواد البكتينية pectic substances والسليولوز وحتى اللجنين lignine . وفى العادة يكون التأثير الضار لامراض النباتات خطيرا ، بل ربما يؤدى الى تدمير المحصول .

لقد عرفت امراض النبات منذ قرون عدة . حتى ان العلماء مثل ارسطو طاليس Aristotles ، وتيوفراستس Theophrastus وبلينى pliny قد تناولوا بعضها فى كتاباتهم الدينية ، مثل العهد القديم Old Testament ، وتحدثوا عن عفن الصدأ والعفن الفطرى والنخر على انها من المشكلات العامة . ومع ذلك ظلوا يشرحون اسباب امراض النبات حتى منتصف القرن التاسع عشر من منطلق الطقس غير الملائم وفقر التربة وقوى الطبيعة الخارقة . وبلغ بهم الامر ان كانت روما القديمة تحتفل بعيد تقدم فيه القرابين الى روبيجوس Robigus ، اله القمح ، كى ينقذ لهم محصول القمح من مرض الصدأ وعلى الرغم من نقص المصادر التى تتناول علم امراض النبات اثناء القرون الوسطى ، فقد ظل معروفا وقوع امراض وبائية (epidemics) اصابت القمح بالصدأ مرات ومرات خلال هذه القرون كما حدث ذلك فى فجر التاريخ . ان انتشار فطريات الارجوت (ergot fungus)، يتسبب فى امراض الغلال بل وتسمم من يتناول الحبوب المصابة كطعام وقد كان ذلك معروفا منذ القرن السادس .

ان كوارث امراض المحاصيل واخفاقها فى العصور الحديثة معروفة لدينا تماما . فعلى سبيل المثال لقد شوهد فى اواسط القرن التاسع عشر حدوث وباءين مدمرين انتقلا الى اوربا من نصف الكرة الغربى ، اذ لوحظ ظهور العفن الفطرى المسحوق فى زراعات العنب فى بريطانيا عام 1845 . وسرعان ماانتشر انتشار النار فى الهشيم ، وما ان حانت سنة 1854 حتى كان المرض قد وصل الى كل قطر اوربى يزرع العنب . وكانت الخسارة فادحة ازدادت سنة بعد اخرى . وفى عام 1854 تسبب المرض فى خفض محصول فرنسا من العنب بنسبة 75٪ بما صاحب ذلك من تدمير كامل للكروم فى بعض المناطق . ولم ينقذ زراعات العنب الا الاكتشاف الذى جاء مؤخرا والذى دلنا على انه يمكن السيطرة على انتشار هذا الوباء بالكبريت ، والاخطر من ذلك كان وباء البطاطس botato blight الذى انتشر فى اعوام 1845 ـ 1847 حيث اكتسح عموم اوربا وسبب ازمة اقتصادية بلغت مداها فى ايرلندا حيث مات اكثر من مليون نسمة جوعا، وهناك حالة

وبائية شهيرة ظهرت مع بداية عام 1869 فى صورة صدأ اوراق البن ، واكتسحت عموم جزيرة سيلان (سيريلانكا) ولم تفلح اية طريقة للسيطرة على الوباء المنتشر ، فتحطم المزراعون اقتصاديا وافلست البنوك وهجرت زراعة البن . وسرى الوباء فعم الشرق ومن ثم انتقل بتمركز انتاج البن الى نصف الكرة الغربى .

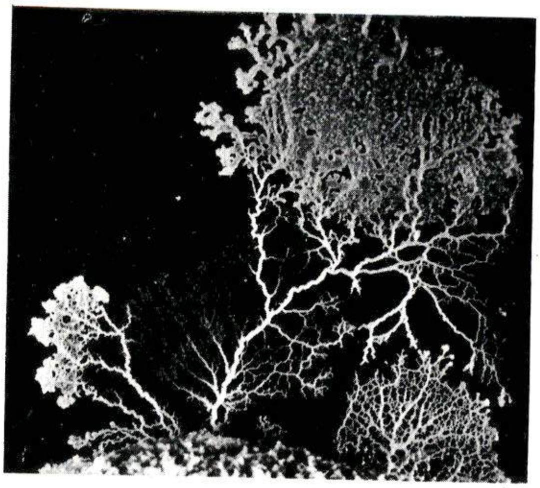
ومن بين الاوبئة الخطيرة التى عرفت فى الولايات المتحدة وباء نخر القسطل chestnut blight . لقد تم الكشف عن هذا المرض الذى انتشر فى العالم اولا فى الولايات المتحدة عام 1904 . وكانت سرعة انتشاره مذهلة بحق فما ان حل عام 1914 حتى كان الفطر المسبب له قد انتشر وعم كل موطن زراعة القسطل ، مما خرب ملايين الاشجار . هذا مع العلم بأن شجرة القسطل الاصلية تعتبر من اهم الاشجار بالنسبة لمصادر الاخشاب وما يقوم عليها من صناعات . ويتهدد الدردار ، الامريكى American elm بنفس المصير ايضا واشجاره من اهم اشجار الظل والزينة فى الولايات المتحدة وموطن الخطر هنا يكمن فى مرض الدردار الهولندى ، الذى يسببه فطر تسرب الى الولايات المتحدة عام 1930 .

وتتعرض النباتات المائية للاصابة بالامراض مثلها فى ذلك مثل نباتات اليابسة ففى ربيع عام 1931 اصاب وباء يعرف باسم وباء التلف wasting disease ، مساحات شاسعة من حشائش الانقليس eelgrass تنمو فى مياه الاطلسى المتاخمة لسواحل امريكا الشمالية ، وحشيشة الانقليس (وهى بالمناسبة ليست من الحشائش) هى من النجيليات ذات الفلقة الواحدة اوراقها تشبه الشرائط الضيقة التى يصل طولها الى متر ونصف المتر . وما ان حل صيف 1932 حتى كانت هذه النباتات قد قاربت على الانقراض بعد وفرتها . ولقد اكتشف سبب الاصابة مؤخرا وعرف ان كائن حى يشبه الاميبا ويدخل ضمن الاعفان اللزجة slime - molds ـ وهو من الفطريات الكاذبة not a true fungus والتى ازداد وباؤها فجأة . وظهر هذا الكائن الوبائى فى المياه الاوربية ايضا من سواحل الابيض وحتى السويد .

استعادت الكثير من المناطق وفرة حشيشة الانقليس مرة اخرى غير ان تأثيرات الوباء كانت وخيمة ، اذ يكتسب هذا النبات اهمية بوصفه من الكائنات المنتجة فى العديد من الدورات الغذائية فبذوره وريزوماته واجزاؤه الاخرى يتغذى عليها العديد من الكائنات البحرية . ومن هنا ماتت الاخيرة او هجرت مواطنها بحثا عن غذاء جديد عندما اصيبت المواطن بهذا الوباء كما ان هذه الحشيشة كانت مصدرا غذائيا لحيوانات بحرية صغيرة مما تسبب فى نقص تعداد افرادها بموت الحشيشة ـ غذائها ـ مما قلل من محصول اسماك القواقع وكميات صيد اسماك القد cod . والسمك المسطح flounders وغيرهما من الاسماك ذات القيمة الاقتصادية ، ولقد حدثت فترات نقص حشيشة الانقليس ايضا ولكن لم تبلغ واحدة منها عنفوان ماجرى فى عامى 1931 ـ 1932 .

قبل دراسة الفطريات بشكل جدى يجب القاء نظرة على الاعفان اللزجة (المخاطية) slime molds ، وهى مجموعة فريدة من الكائنات الحية التى يعتبر اصلها وعلاقاتها محط تساءلات وجدال . ففى مخططات تصنيف النباتات تربط هذه الاعفان بالفطريات ولكنها مع امتلاكها مميزات فطرية ، تستبعد فى العادة من الفطريات الحقيقية بسبب تمتعها بسمات خاصة ، سواء فى تركيبها او تاريخ حياتها .

توجد الاعفان اللزجة فى الطبيعة فى كل من الاخشاب الرطبة ، حيث تعيش على الكتل الخشبية المتعفنة ، وفى التربة الرطبة وفى اعفان الاوراق النباتية ونشارة الخشب والفطريات اللحمية المتفسخة وغير ذلك من المواد العضوية . ويعقب فترات الطقس الممطر ظهورها على اوراق الحشائش او نباتات المروج الاخرى . اما طورها الخضرى فيتكون من كتلة من البروتوبلازم متعددة الانوية العارية ـ عدم وجود جدران خلوية ـ naked (Without cellwalls) multinucleate mass تسمى البلازموديوم plasmodium . وتتخذ هذه الكتلة فى العادة شكل شبكة مروحية fan – shaped network متشعبة بشكل العروق ، تترابط عند الحواف الخارجية ويصطبغ المجموع بالوان ناصعة فى العادة (شكل 21 ـ 2) . ويسرى البلازمود يوم فوق السطح بشكل اميبى ، حاصلا على غذائه عن طريق الاحاطة بفتات الجسيمات العضوية وابتلاعها . يتم هضم هذا



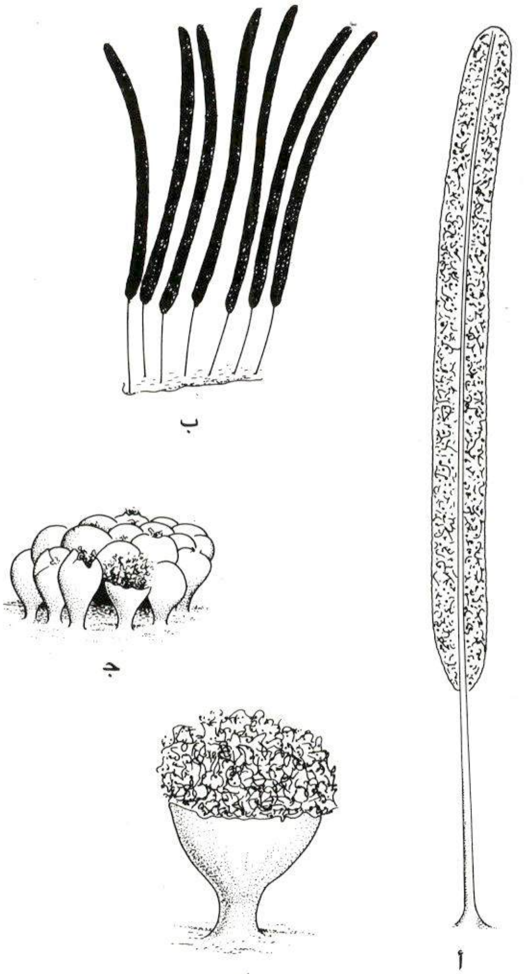
شكل (2_21) بلازموديوم Physarum polycephalum من الأعفان اللزجة

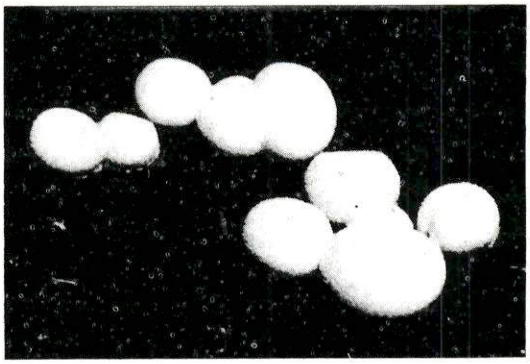
الغذا داخل فجوات غذائية food vacuoles ، اما النفايات او الجسيمات غير المهضومة فيخلفها البلازمود يوم وراءه عند تحركه الى الامام . وفى الظروف المختبرية تم النجاح فى المحافظة على بلازموديوم بعض الانواع عن طريق تغذيته بالبكتريا وخلايا الخمائر او مسحوق الشوفان الملفوف pulverized rolled oats أو اجاربه شوفان . ويعتبر غياب جدران الخلية فى البلازموديوم ، وحركته الاميبية وطريقة حصوله على الغذاء من السمات المميزة للحيوانات بدلا من النباتات .

وعلى الرغم من ان المرحلة الخضرية للاعفان اللزجة تشبه الحيوانات الا ان تكاثرها يشابه تكاثر النبات . ففى ظل الظروف البيئية المعينة يفرز البلازموديوم مجاميع من حافظات السبورات sporangia الرقيقة الجدران ، او ما يسمى باكياس السبورات spore cases التى تشابه كثيرا امثالها فى العديد من الفطريات. فحافظات السبورات (شكل 21 _ 3) هى اجسام صغيرة (لا يزيد ارتفاعها عن بضعة مللم) تكون اما جالسة sessile او معنقة stalked وتحتوى على اعداد غفيرة من سبورات مجدرة (محاطة بجدران) وفى حالة سكون وتنتشر بفعل الرياح . وعلاوة على السبورات تحوى حافظات السبورات عادة شبكة متشعبة من الخيوط

شكل (3_21) الاعفان اللزجة (أ،ب) سيتمونيتس Stemonitis.

أ ـ حافظة السبورات بعد أن لفظتْ سبوراتها، وتوضح الشبكة التى كانت السبورات مدفونة بها.
ب ـ الشكل العام للنبات.
(جـ،د) هيميتريشيا (Hemitrichia)
جـ ـ عنقود من الحوافظ السبورية.
د ـ حافظة سبورية واحدة مكبرة بعد أن لفظت سبوراتها (يبلغ طول الستيمونيتس حوالى 15 ملليمتر)، بينما لاتتجاوز الهيميتريشيا المليمترين.





الرفيعة ويعتبر لون السبورات وشكل حافظة السبورات وحجمها وكذلك نمط الشبكة الداخلية من السمات المميزة لكل نوع ففى انواع قليلة من الاعفان المخاطية تكون حافظات سبوراتها مندمجة الى حد فقدانها لهويتها فى خضم كتلة تكون فى مجموعها جسما ثمريا كبيرا نسبيا تام الوضوح (شكل 21 ـ 4) .

تتوسط مرحلة جنسية تأتى بين طور السبور الساكن والبلازموديوم ومن خلال مرحلة الانبات تنتج السبورات ما يتراوح عدده من 1 ـ 4 من الامشاج العارية naked gametes ولكل منها سوطان . تنقسم الامشاج بعد تغذيتها انقساما انشطاريا fission division وذلك لفترة ما ، ومن ثم تندمج فى ازواج مكونة الزيجوت، وينتج البلازموديوم من الزيجوت مباشرة بواسطة زيادة حجمها وحدوث العديد من الانقسامات الفتيلية mitotic divisions التى تجرى فى الانوية ثنائية المجموعة الكروموسومية diploid . وربما يتحد البلازموديوم الفتى مع زيجوت او مع بلازموديوم آخر من نفس النوع وبذلك يكبر حجمه ويحدث الانقسام الاختزالى meiosis فى حافظة السبورات قبل تكوين السبور بها ومن ثم يحق لنا ان نصنف السبورات والامشاج على انها احادية المجموعة الكروموسونية haploid .

لا تتمتع الاعفان المخاطية بأية قيمة اقتصادية وتكون ضعيفة للغاية ان وجدت ولكن بعضا من انواعها قد تعرضت لدراسات مختبرية مكثفة. ولا غرو اذ تزودنا هذه الاعفان بكميات كبيرة من البروتوبلازم بدون جدران خلوية ومن ثم يمكن استخدامه فى دراسات البروتوبلازم ولذلك فقد اتسع استخدامها فى الدراسات المختبرية المتعلقة بفسيولوجيا الكائنات الحية الدنيا وتطورها ولقد اوليت عناية خاصة بانسياب البروتوبلازم proto-plasmic streaming فى عفن (physarum polycephalum) عند فحص احد العروق الكبرى فى البلازموديوم تحت المجهر يرى البروتوبلازم منسابا بسرعة هى اقصى سرعة سجلت فى كائن حى . وبعد انسياب السيتوبلازم فى اتجاه واحد ولمدة قصيرة تكون فى العادة اقل من الدقيقة ينعكس اتجاه الانسياب ويتكرر هذا الانسياب الايقاعى الى الامام ثم الى الخلف طول فترة النمو النشط .

نظرا الى ان الاعفان المخاطية جمعت بين صفات النبات والحيوان اعتبرت هذه الاعفان من النباتات تارة ومن الحيوانات تارة اخرى ، ومن البروتستا احيانا . ومن المؤكد بصورة قطعية ان الاعفان اللزجة قد عاشت على كوكبنا منذ قديم الازل الا انها لم تكن قطعا اسلافا لصورة حياة ارقى وعلى الرغم من ان هذه الاعفان تعتبر فى الاساس كتلا عارية من البروتوبلازم الا انها شديدة المقاومة للاشعة السينية x – rays ولغيرها من صنوف الاشعاعات الاخرى . وربما تشير هذه الحقيقة الى شكل قديم للحياة على الارض عندما كانت مستويات الاشعاع اعلى بكثير مما هو موجود الآن . وبسبب غرابتها تعتبر الاعفان اللزجة صورة حية من التباينات اللامتناهية لاشكال الحياة .

تصنيف الفطريات : Classification of the Fungi

يواجه تصنيف الفطريات مثله فى ذلك مثل تصنيف الكائنات الحية الاخرى ، بعض الصعوبات ورغما عن هذا فلقد قسمت الفطريات تقليديا الى اربع رتب (الفصل الثامن عشر) . وتتميز الثلاث رتب الاولى منها وهى الفطريات الطحلبية phycomycetes ، والفطريات الكيسية (الزقية)

ascomycetes والفطريات البازيدية (وتسمى ايضا الدعامية) basidiomycetes ، بوجود التكاثر الجنسى . يسمى طور دورة الحياة الذى يتم فيه اتحاد الامشاج gametes والسبورات spores ، الذى يصحب التكاثر الجنسى ، بالمرحلة الكاملة perfect stage . اما طور دورة الحياة الذى لا يتضمن وقوع أى اندماج جنسى sexual fusion ، وحيث لا يوجد من السبورات الا السبورات اللاجنسية asexual spores ، فيعرف بالمرحلة الناقصة imperfect stage . وتعتبر طبيعة السبور أو السبورات الخاصة بالمرحلة الكاملة ، وكذلك طرق تكوينها ، من السمات عالية الاهمية التى تميز هذه المجاميع الثلاث المذكورة للفطريات من حيث ضرورتها لتحديد الرتبة التى ينتمى اليها الفطر .

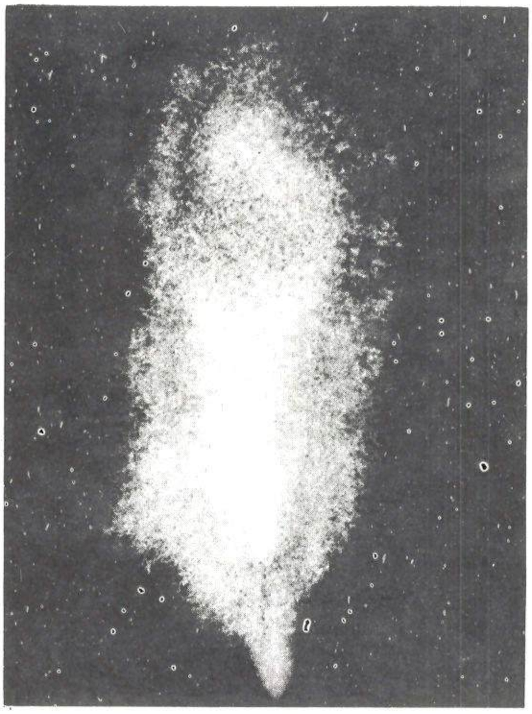
ومن ناحية أخرى هناك اعداد كبيرة من الفطريات لم يتعرف فيها على المرحلة الكاملة او المرحلة الجنسية ولذلك وضعت انواع هذه الفطريات فى مجموعة رابعة (الاصطناعية (artificial) وسميت بالفطريات الناقصة fungi imperfecti . لقد كشفت الدراسات عن وقوع مراحل كاملة لاعضاء هذه المجموعة احيانا ، ومن اجل ذلك نقلت الانواع الى الرتب التى تنتمى اليها تعتبر الدورة النووية nuclear cycle فى الكثير من الفطريات التى تتكاثر جنسيا شديدة التعقيد ، لذلك لن نشرح بالتفصيل كل الاشكال التى سنتعرض لها فى الصفحات اللاحقة .

Phycomycetes (Alga-
Fungi) تلقب هذه الطائفة من الفطريات عموما بالفطريات الطحلبية algal fungi لأن اعضاء هذه المجموعة تتشابه مع بعض من الطحالب الخضراء من حيث بنيتها وطرق تكاثرها . ولكون هذه المجموعة متباينة (غير متجانسة) heterogenous ، فقد قسمها الكثير من العلماء الى عدد من الرتب بلغ اقصاه ست رتب . كما تلقب هذه المجموعة ايضا بالفطريات الدنيا lower fungi للتفريق بينها وبين الفطريات الراقية higher fungi ، اى الفطريات الكيسية والبازيدية تعتبر بعض الفطريات الطحلبية من النباتات البدائية primitive احادية الخلية ولا تكون خيوطا فطرية hyphae ، غير ان غالبيتها تنتج خيوطا فطرية خضرية vegetative hyphae تخلو من الجدران العرضية (بلا حواجز non septate) ولا تتكون اجسام ثمرية fruiting bodies ظاهرة . ويكون بعضها مائيا ، وتعتبر الانواع المائية اكثر بدائية من الافراد الارضية . اما السبورات اللاجنسية asexual spores (وتسمى للتفريق بالاكياس السبورية sporangiospores) وهى اما متحركة أو غير متحركة ، وتنتج نمطيا فى كيس رقيق الجدران يسمى حافظة السبورات sporangium . تلقب السبورات المتحركة والتى ربما تكون مزودة بسوط او سوطين فتسمى بالسبورات اللاجنسية ، كما سميت فى الطحالب . لا ينتج هذا النوع من السبورات فى الطحالب الحقيقية الا فى حالة الفطريات الطحلبية وحدها . ويكون سبور المرحلة الكاملة عادة اما الزيجوسبور zygospore وهو نتاج اندماج عضوين جنسيين متساويين (حافظات الامشاج Gametangia) ، وقد يكون بيضة مخصبة oospore ناتجة عن اندماج بيضة كبيرة بمشيج ذكرى اصغر . لقد تم التأكد من تدخل هرمونات جنسية فى عملية التكاثر الجنسى التى تحدث فى الفطريات الطحلبية احادية المجموعة الكروموسومية ، باستثناء واحد يظهر فى نواة ، الزيجوت الثنائية المجموعة الكروموسومية تلك التى تتعرض للانقسام الاختزالى فور الاندماج المشيجى وربما يمثل هذا النمط البسيط نوعا عاما لدورة حياة نشأت عنها انواع اكثر تعقيدا .

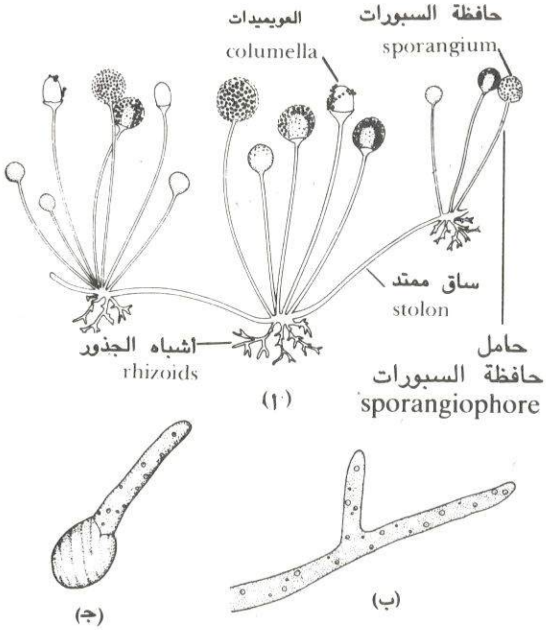
بعض الفطريات الطحلبية المائية تعرف باعفان الماء Water molds ، ربما تكون شديدة الضرر فى احواض الاحياء المائية aquaria واحواض تفريخ الاسماك hatcheries . ومن بين الانواع التى تعيش على اليابسة نجد فطر الخبز bread mold fungus وغيره من الانواع الشائعة وتلك الاشكال الهامة اقتصاديا تعطينا صورة واضحة عن رتبتها ككل

عفن الخبز : Bread Mold

إن عفن الخبز (Rhizopus stolonifer) ، هو فرد من مجموعة تلقب بالأعفان السوداء Black Molds، ويعتبر واحد من أكثر أنواع الفطريات شيوعا وانتشارا . ويمكن مشاهدته



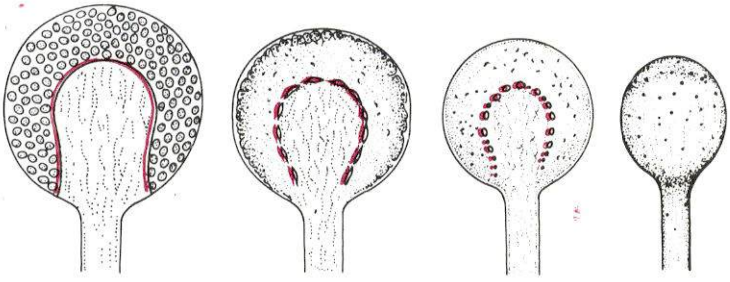
شكل (21ـ5) فطر عفن الخبز bread mold fungus (Rhizopus stolonifer ناميا على الجذر.



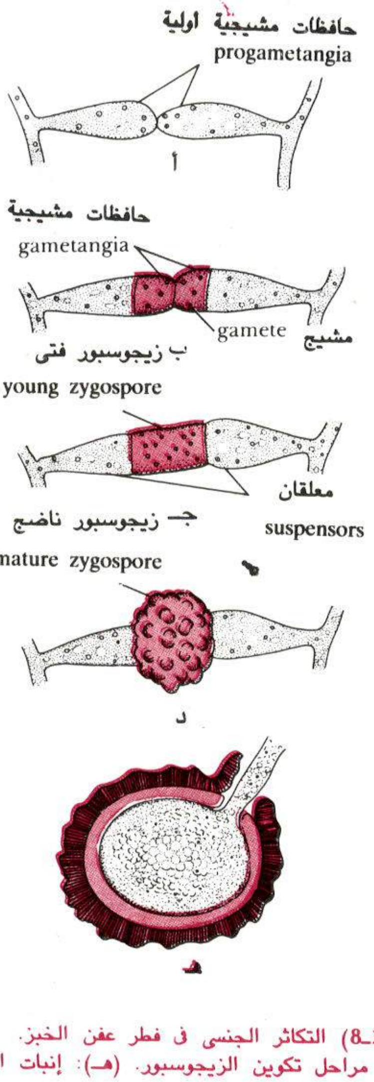
شكل (21ـ6) فطر عفن الخبز، (أ): التراكيب المصاحبة للتكاثر اللاجنسى بواسطة السبورات، (ب): جزء من خيط فطرى، (جـ): إنبات السبور.

فى المنازل كنمو قطنى يعلو سطح الخبز وغيره من المواد الغذائية (شكل : 21 ـ 5) . يتكون مثل هذا النمو بعد إنبات سبورات لاجنسية ، ويتخذ صورة كتل من خيوط فطرية متشابكة ومتفرعة تنمو منها الحافظات السبورية المتكورة والمعنقة (شكل : 21 ـ 6) ، والأخيرة تحمل سبورات لاجنسية . وتتولد الحافظات السبورية عادة فى تجمعات ينشأ كل منها من خيط فطرى متخصص ويسمى التجمع وخيطه بحامل الحافظات السبورية Sporangiophore . كما أن كل تجمع من الحافظات السبورية مدعم بمجموعة من خيوط فطرية تشبه الجذور مظهرا ووظيفة وتسمى بأشباه الجذور Rhizoids حيث تقوم بامتصاص الغذاء والماء . تتكون المجموعة الجديدة من تجمع الحافظات السبورية هى وأشباه جذورها من خيوط فطرية متخصصة تسمى بالخيوط الممتدة Stolons ، والتى تمتد بدورها من كومة ابوية clump بما يشبه منشأ السيقان الجارية Runners لنبات الشليك .

عند بلوغ العفن ، يتضخم طرف حامل السبورات مكونا بذلك حافظة سبورية (شكل : 21 ـ 7) . وتنساب الأنوية والسيتوبلازم والمواد الغذائية الى القمة المتضخمة . تتراكم معظم الأنوية هى والجزء الأكبر من السيتوبلازم فى منطقة محيطية خارجية مخلفة وراءها منطقة أخرى داخلية تحوى عددا قليلا من الأنوية وجزءا يسيرا من السيتوبلازم . وتظهر هنا طبقة تشبه القبة ، تتألف من فجوات موقعها وسطى بين المنطقتين الخارجية والداخلية . وهنا تتفلطح الفجوات وتندمج الواحدة بالأخرى ، ثم يتكون جدار يفصل الحافظة السبورية الى قسمين : منطقة خارجية مخصبة Outer Fertile Zone ، ومنطقة داخلية عقيمة Inner Sterile Area ، تعرف باسم العويميدات Columella . أما برتوبلازم المنطقة المخصبة فيصبح مقسما الى عدد كبير من الحاملات السبورية (بما يصل أحيانا الى 70,000) ، وذلك عبر تكون أخاديد فاصلة Furrowing . وتتحدد أجزاء صغيرة من السيتوبلازم بحدود واضحة ، ويحوى كل جزء بضع أنوية ، وتفصل هذه الحدود كل جزء عن الآخر وعن الجدار المحيط بما ينشأ عنه سبورات بيضاوية Oval Spores ، جدران خلاياها مخططة (مزخرفة) بحزوز (أخاديد) Stiations.



شكل (21ـ7) فطر عفن الخبز.
مراحل تطور الحافظة السبورية.



شكل (21ـ8) التكاثر الجنسى فى فطر عفن الخبز.
(أ ـ د): مراحل تكوين الزيجوسبور. (هـ): إنبات الزيجوسبور

يكون جدار الحافظة السبورية سهل الكسر (هشا) Fragile ، ويتحلل عند البلوغ مطلقا مابه من سبورات ، تبقى العويميدات بعد تفتك الحافظة السبورية . أما السبورات التى تذورها التيارات الهوائية فيتسنى لها الانبات اذا ما توفرت الظروف الملائمة لدرجتى الحرارة والرطوبة . تنشأ أنبوبة جرثومية Germ Tube عن كل سبور ، سرعان ماتنمو وتتشعب بادئة فى تكوين كتلة من الخيوط الفطرية .

التكاثر الجنسى : *Sexual reproduction*

يعتبر سبور المرحلة الكاملة Perfect Stage فى عفن الخبز وغيره من أنواع الأعفان السوداء Black Molds هو الزيجوسبور Zygospore . يتم التكاثر الجنسى بالتزواج Conjugation (شكل 21 ـ 8) متشابها من عدة وجوه بما يجرى فى حالة السبيروجيرا Spirogyra . ونعنى بهذا أنه كلما تلامس خيطان فطريان من غزلين فطريين مختلفين وراثيا ، يحتمل نشؤ شعب جانبية تخصصية تسمى بالحافظات المشيجية الأولية Progametangium . وتتلاصق الأخيرة عند اطرافها فى بداية الأمر ، إلا أنها تدفع الخيوط الفطرية التى نشأت عنها ، كلما زاد حجمها . وسرعان ماينشأ جدار عرضى يغلف العديد من أنوية المشيج Gamete Nuclei وذلك خلف قمة كل حافظة مشيجية أولية ، ومن ثم يصبح الجزءان المتماسان مفصولين الواحد منهما عن الآخر ويكون كل منهما حافظة مشيجية مستقلة ، أما الأجزاء الباقية من الشعب المتخصصة والتى يكون موضعها خلف الحافظات المشيجية فتسمى بالمعلقات Suspensors . وهنا يتحطم الجدار الفاصل بين كل زوج من أزواج الحافظات المشيجية ويختلط من ثم محتواهما ثم تنمو الحافظات المشيجية المندمجة مكونة زيجوسبور ، ويتضخم الزيجوسبور الفتى مكونا جدارا خارجيا سميكا ومغطى بالنتوءات ، وهنا يدخل فى دور السبات ،

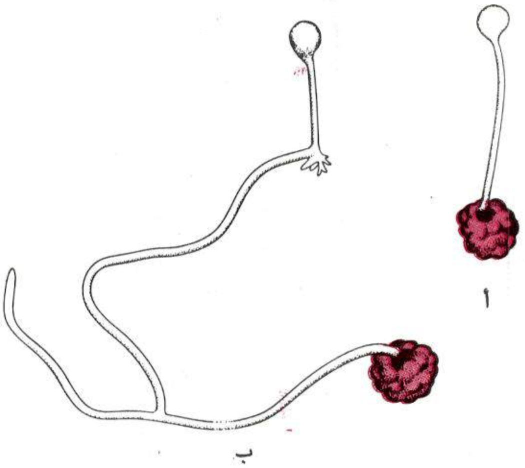
Dormancy . وربما يلاحظ فى الشرائح المجهرية المجهزة للزيجوسبور البالغ اجزاء من المعلقات ، وتظهر مستمرة فى ارتباطها بأحد جانبى الزيجوسبور .

تستمر فترة السبات فى الزيجوسبور من شهر الى عدة شهور ، كما أن انباتها قد لاحظه عدد قليل من الباحثين . ويمكن انبات الزيجوسبور باحدى الطريقتين التاليتين :

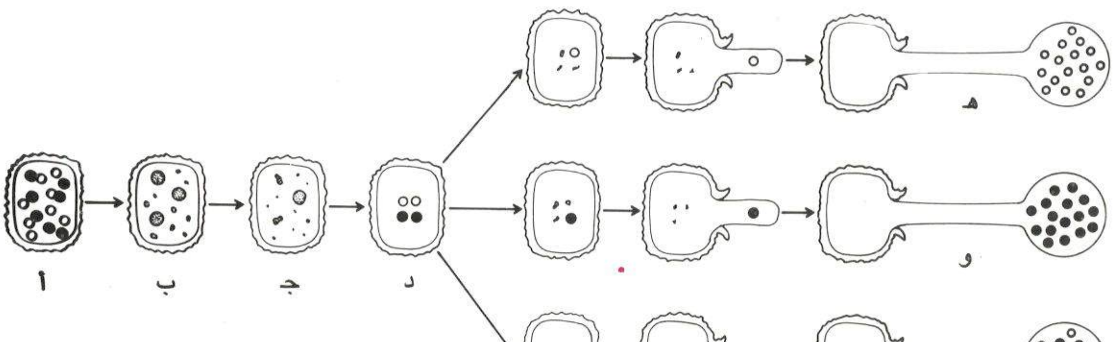
(1) الأشيع أن ينشأ مباشرة عن الزيجوسبور حامل الحافظة السبورية حيث ينمو الحامل منتصبا ، وينتج حافظة سبورية عند قمته (شكل 21ـ9أ) .

(2) الأقل شيوعا أن ينتج الزيجوسبور خيطا فطريا واحدا أو أنبوبة جرثومية سرعان ماتنمو أفقيا ولمسافة قصيرة ،وربما تكون شعبا غير كثيفة . ينبثق عن الأنبوبة الجرثومية عند طرفها أشباه جذور تتجه الى أسفل ، ومن هذه النقطة ينشأ حامل سبورى منفرد يكون فيما بعد حافظة سبورية (شكل : 21 ـ 9ب) . علينا أن نذكر أن الزيجوسبور فى العفن الأسود المعنى (أى عفن الخبز) يتصرف بطريقة مماثلة لما سبق ذكره . وعموما تم الاتفاق على المخطط التالى لتعاقب الأحداث فى دورة حياة Life Cycle ، العفن المذكور (شكل :21 ـ 10) .

بعد تكون الزيجوسبور بقليل تندمج بعض أنوية المشيج أزواجا ، ويظهر أن مصدر أمشجة كل من هذه الأزواج هو حوافظ مشيجية مختلفة . أما الأنبوبة المتبقية ذات المجموعة الكروموسومية الاحادية فيمكن أن تنحل . وبما أن الأمشاج



شكل (21ـ9) طرائق إنبات زيجوسبورات فطر الرايزوبس rhizopus. (أ) ينشىء الزيجوسبور مباشرة حافظة سبورية. (ب) حاملة سبورية نشأت بعد نمو ضئيل للخيوط الفطرية الخضرية.



شكل (21ـ10) الاندماج النووى والانقسام الاختزالى وتوزيع انوية السبورات الاختزالية على الحوافظ السبورية لفطر عفن الخبز.
(أ ـ ب) اندماج انوية المشيج فى الزيجوسبور
(جـ-د) الانقسام الاختزالى.

(هـ-و) ثلاث انوية للسبور الاختزالى meiospore تتحلل ومن ثم تدخل نواة أحد النمطين القرينين الى الحافظة السبورية.
ز ـ تتحلل نواتان فقط، كما أن الحافظة السبورية تحوى انوية من النمطين القرينين.

تتكون أساسا من أنوية متشابهة فى الحجم ، لذلك يكون التكاثر الجنسى ، الحادث فى هذا الفطر، من النوع المتساوى الأمشاج Isogamous . وأثناء سبات الزيجوسبور تختفى جميع الأنوية ثنائية المجموعة الكروموسومية عدا واحدة فقط ، كما يحدث انقسام اختزالى فى النواة المتبقية الوحيدة ثنائية المجموعة الكروموسومية ، وذلك فى وقت حدوث إنبات الزيجوسبور . ويستمر الانحلال ، وعادة تبقى واحدة فقط من الأنوية الرباعية Tetrad of Nuclei ، الناتجة عن الانقسام الأختزالى ومن ثم تنتج هذه النواة ، عبر حلقات متتالية من الأنقسامات الفتيلية Mitoses انوية الأحادية المجموعة الكروموسومية العائدة لسبورات الحافظة السبورية . أما الحافظة السبورية الوحيدة والناتجة عند الانبات فربما تكون واحدة من ثلاثة أنواع (1) تلك الحاوية على السبورات الموجبة Plus Spores فقط (تنظر الفقرة التالية)؛ (2) تلك الحاوية على السبورات السالبة فقط Minus Spores ؛ واخيرا (3) تلك (وعددها قليل) الحاوية على سبورات من النوعين الأولين معا ، وربما تفسر الحالة الأخيرة بواسطة استمرار حياة نواتين من الأنوية الرباعية فى بعض الزيجوسبورات بدلا من نواة واحدة فقط .



شكل (21ـ11) عفن الميوكر Mucor hiemalis يوضح السلالتين الموجبة والسالبة. لقد تكون خط من الزيجوسبورات عندما التقت الخيوط الفطرية للسلالتين.

تجانس الثالوس وتباينه : *Homothallism and heterothallism*

يمكن تقسيم الأعفان السوداء الى مجموعتين متميزتين . ويمكن الحصول على الزيجوسبورات من احدى المجموعتين بسهولة ويسر سواء فى الطبيعة أو من مزارع نقية . أما المجموعة الثانية فتشتمل على الرايزوبس Rhizopus) (Stolonifer وغيره من الأنواع الأخرى ، يندر وقوع تكون الزيجوسبور . ولقد شكلت هذه الحالة عائقا فى الدراسة الى أن تم الكشف عن أن الزيجوسبور للمجموعة الثانية لايتكون إلا باجتماع الخيوط الفطرية لسلالتين مختلفتين ناتجتين عن سبورات مختلفة . وتسمى احدى السلالتين بالسلالة الموجبة Plus Strain ؛ بينما تلقب السلالة الأخرى بالسالبة Minus Strain . كما أن النوع المحتوى على السلالتين وحيدتى الجنس Unisexual Strain واللتين تدعيان بسلالتى الأنماط المترافقة Mating Types يلقب بالثالوس المتباين Heterothalic . أما النوع ثنائى الجنس Bisexual Species ، الذى تكون فيه الزيجوسبورات نامية على الخيوط الفطرية الناتجة عن سبور واحد فيدعى بالثالوس المتجانس Homothallic.

وعلى ضوء هذا الاكتشاف فقد أصبح من السهل الآن الحصول على الزيجوسبور للأنواع التى كانت فى السابق متعذرا الحصول عليها . وفى ذلك يتبع الأسلوب التالى : تنقل السلالتان الموجبة والسالبة فى مزرعة نقية) وعند زرع السلالتين معا فى بيئة غذائية سرعان ماتكونان الزيجوسبور . كما أن حقن السلالتين على جانبين متواجهين من طبق المزرعة سوف يسبب نمو خيوط فطرية واستمراره حتى التقائها مكونة خطاً من الزيجوسبورات عند منتصف طبق المزرعة (شكل 21 ـ 11) . سوف يخفق حقن المزرعة بسلالتين موجبتين أو سالبتين لطبق واحد فى تكوين الزيجوسبورات . وبعد اكتشاف الثالوس المتباين Heterothallism تبين أن هذه الحالة واسعة الانتشار بين العديد من مجاميع الفطريات .

تغذية عفن الخبز : *Nutrition of bread mold*

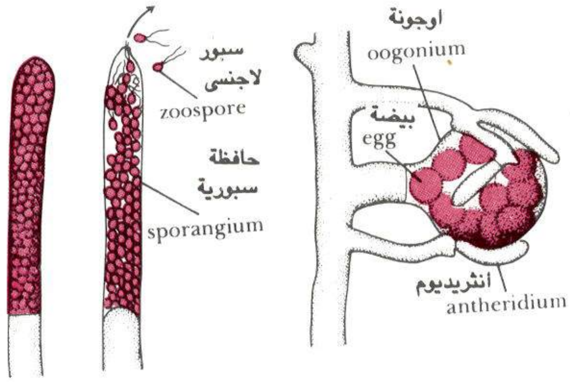
يعتبر عفن الخبز واحداً من بين العديد من الفطريات القادرة على الحصول على غذائها اما من المواد غير الحية أو من الأنسجة الحية . ينمو هذا العفن سواء فى المختبر (وكثيرا فى البيت ايضا) فوق الخبز أو غيره من المواد الغذائية الجاهزة . ويحصل الفطر من هذه المواد وعبر نشاطات انزيمية على غذائه المحلول الذى يستطيع به النمو بسرعة ، ربما يعيش فطر عفن الخبز أيضا على التطفل Parasitically . ويعتبر هذا العفن

أحد أشهر الأعفان وأكثرها شيوعا وتدميرا ، خصوصا اثناء تخزين الفواكه والخضروات الطازجة وشحنها بالبواخر ، اذ نجد أن البطاط الحلوة والعنب والطماطم والبرقوق والخوخ والكرز والشمام Muskmelons والشليك ، تهاجم بهذا العفن ، ويتسبب عفن الرايزوبس Rhizopus أيضا فى تعطن القطن Boll Rot of Cotton (العفن العليبى Boll Rot) . يمكن تجنب الكثير من الخسارة الناتجة عن عفن الرايزوبس الذى يحدث فى المنتجات الغذائية عن طريق التبريد والتهوية المناسبة أو بالحرص فى تنفيذ أعمال المناولة Handling وذلك لتجنب حدوث كدمات وجروح فى الفواكه والخضروات ، لكى لاتسمح لخيوط هذا الفطر بمهاجمة الأنسجة المعرضة .

اعفان الماء : Water Molds

تعيش هذه الأعفان فى الماء على الرغم من أن بعض أنواعها تعيش فوق سطح التربة أيضا . تتسبب أفراد مجموعة شديدة القربى منها ، وتتكون فى الأساس من جنس الافانومايسس Aphanomyces والفيثيوم Phyium ، فى المرض المعروف كثيرا والمسبب لكثير من الأضرار المسمى بمرض ذبول البادرات «Damping off» of Seedlings الذى يحدث فى بادرات البيوت الزجاجية وكذلك تربة الحدائق . هناك من بين الأنواع الشائعة لأعفان الماء أفراد جنس سبروليجنيا Saprolegnia ولاخيليا Achlya . يعيش هذان الجنسان بالترمم فى الماء على بقايا أنسجة حيوانات ميتة مثل الحشرات والأسماك . كما أن العديد من أنواع جنس السبروليجنيا تكون متطفلة أيضاً سواء على أسماك البحار أو الأحواض السمكية أو مزارع الأسماك . يحدث دخول العفن الى جسم المضيف فى الأساس من خلال كدمات أو جروح عليه . ومن هنا جاء الأعتقاد بأن أعفان الماء لاتغزو الأنسجة غير المجروحة . يمكن الحصول على مزارع هذه الاعفان عن طريق وضع ذبابة عادية ميتة أو غيرها من المواد الحيوانية فى قليل من ماء أخذ من أحد الغدران أو البرك بعد مضى بضعة أيام سيعلو سطح المادة الحيوانية كتلة من الأنسجة الفطرية تشبه القطن يسهل رؤيتها بالعين المجردة . كما أن خيوطا فطرية أخرى سوف تمتد متغلغلة فى أنسجة الحشرة أو الحيوان المتفسخ .

سوف يكشف الفحص المجهرى للخيوط الفطرية الخارجية عن أن بعضها صولجانى الشكل ، وأنه قد تحول الى حافظات سبورية بواسطة تكوين جدار عرضى عند قاعدة الجزء المتضخم (شكل : 21 ـ 12 اليسار) . بعد نشوء هذا الجدار يصبح المحتوى البروتوبلازمى للحافظة السبورية مقسما الى العديد من السبورات اللاجنسية Zoospores الصغيرة المزود



شكل (21ـ12) السبروليجنيا (جنس من اعفان الماء) Saprolegnia

(اليسار): التكاثر بالسبورات اللاجنسية.
(اليمين): التكاثر الجنسى.

كل منها بسوطين . وتفرز هذه السبورات اللاجنسية عبر ثغرة تكون فى طرف الحافظة السبورية .

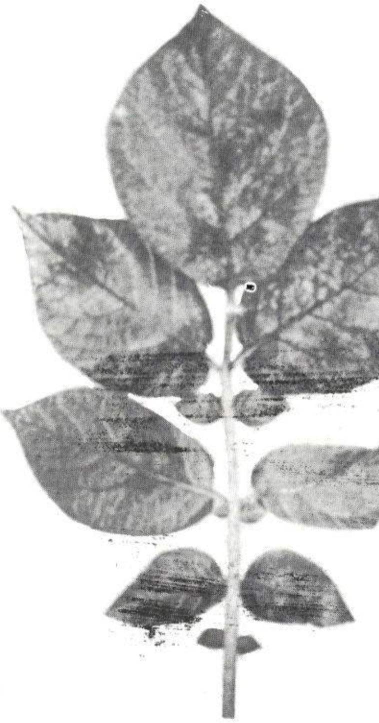
كما ان اعضاء الجنس فى السبروليجنيا Saprolegnia ونقصد بها الاوجونات (مولدات البيض) oogonia والانثريدات antheridia (شكل: 21ـ12 يمين) تتكون ايضا عن طريق تضخم أطراف خيوط فطرية تخصصية ونشوء جدران عرضية بها. اما الاوجونة فتكون جسما بيضويا او كرويا كبيرا يحوى عدة بيضات وتنضغط الشعب الانثريدية على الاجونة ومن ثم تبعث فيها واحدة او اكثر من أنابيب الاخصاب Fertilization tube حيث تخترق الاخيرة البويضات تمر الأنوية الذكرية عبر هذه الانابيب مايسبب الاخصاب عبر الاندماج مع أنوية البويضات ويعقب الاخصاب تكوين البويضات المخصبة oospores جدارا سميكا، ومن ثم تدخل فى مرحلة سكون resting stage. يحدث إنبات البيضة المخصبة اما بواسطة تكون خيط فطرى او بانتاج السبورات اللاجنسية ومن هنا يكون التكاثر الجنسى فى السبروليجنيا Saprolegnia من نوع غير متماثل الامشاج oogamous، على نقيض النوع المتماثل الامشاج isogamy الذى وجد فى فطر عفن الخبز.

اللفحة المتأخرة للبطاطس: Late Blight of Potatoes

يعتبر فطر الفيتوفثورا Phytopthora infestans والذى يسبب مرض اللفحة المتأخر late blight فى نبات البطاطس من أخطر الفطريات التى تهاجم النباتات المزروعة ومن اكثرها تدميرا، و يكتسب هذا المرض أهمية تاريخية فلقد حدث قحط عام في السنوات 1845-1847 نتج عن وبـــاء أصاب البطاطس بالنخر وعم دول اوربا، وكان وقعه بالغا للغاية فى ايرلندا، حيث كانت البطاطس قوام طعام فلاحى ايرلندا، ومن هنا تسبب هذا القحط في حدوث مجاعة واسعة راح ضحيتها الكثيرون. كما فرت الآلاف المؤلفة من العائـلات الى الولايات المتحدة الامريكية بسبب ذلك،واستمرت الهجرة غربا لاجيال عديدة.

لقد حث الاحباط الاقتصادى الذى سببه المرض الناتج عن هذا النبات المعايش epihytes (والمقصود هنا نوع من النباتات التى تعيش على نبات اخر دون ان تستمد منه غذاءها) الباحثين على اجراء الدراسات بحثا عن سبب وطبيعة هذا المرض بوجه الخصوص وامراض النباتات بوجه عام. وكانت فى ذلك الحين نظرية التولد الذاتى (التلقائى) spontaneous generation معمولا بها، وعلى الرغم من الاعتراف فى ذلك الوقت بوجود نوع من الفطر ذى علاقة بظهور المرض الا أن الاعتقاد الذى ساد عندئذ كان فى ان مثل هذا الفطر قد ظهر نتيجة لوقوع المرض بدلا من أن يكون سببه. غير أن الكثير من الابحاث التى تلت ذلك قد كشفت عن البرهنة على الطبيعة المرضية للكثير من انواع الفطريات. ولقد قام على أساس المعرفة المتراكمة لتاريخ حياة الفطريات، والتى اكتسبت من هذه الدراسات استنباط طرق فعالة لمحاصرة هذه الامراض والقضاء على أوبئتها.

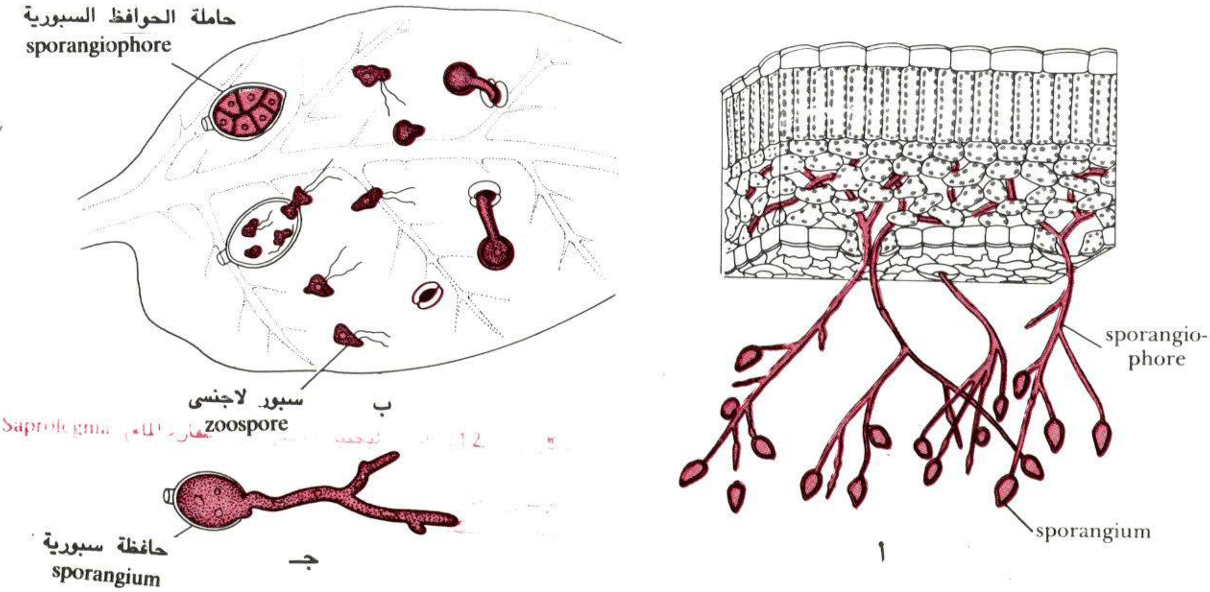
ينمو الفطر المسبب لمرض لفحة البطاطس على أوراق النبات وأعناقه petioles وكذلك على سيقان النبات. وبسبب وجود هذا الفطر تموت المناطق التى يعيش عليها (شكل 21ـ13) بل وربما يصل الامر اخيرا الى قتل قمة النبات. تنمو الخيوط الفطرية بين خلايا المضيف وترسل ممصات haustoria طويلة ومجعدة الى الخلايا المجاورة، ومع تقدم المرض تنمو اعداد غفيرة من حوامل حافظات السبورات



شكل (21ـ13) اعراض مبكرة لمرض اللفحة المتأخر الناتج عن فطر Phytophthora infestans وتظهر على السطح الاسفل من ورقة البطاطس. للمساحات الداكنة مظهر عفنى نتيجة لظهور جسيمات الفطر التكاثرية. تنتشر المساحات المصابة ومن ثم تفسد الاوراق وكثيرا مايفسد المحصول ايضا.

sporangiophores خارجة من فُتحات ثغور stomata السطح السفلى للورقة (شكل 21 ـ 14أ) . ينتج عن حوامل حافظات السبورات عدد كبير من الحافظات السبورية بشكل اليمونات الصغيرة، تعمل الرياح ورخات الامطار على نشر هذه الحافظات وانتقالها الى نباتات البطاطس الجديدة.

عندما تحط الحافظة السبورية على ورقة لنبات مضيف جديد تسلك سلوكا غريبا بحق. اذ يمكنها ان تختار بين وظيفتين اما وظيفة الحافظة السبورية او السبور نفسه. كما

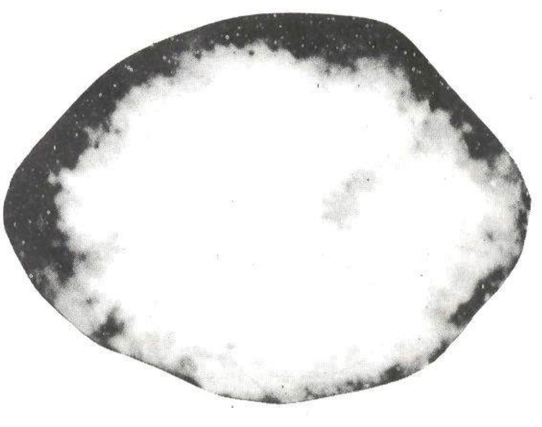


شكل (21_14) فطر اللفحة المتأخر. (أ): انتاج الحوافظ السبورية على السطح الاسفل من ورقة البطاطس. (ب) الانبات غير المباشر. (جـ) الانبات المباشر.

أن هذه الحافظة اذا ما توفرت لها درجة الحرارة المثلى 12 درجة مئوية فانها تمر بعملية إنبات غير مباشر indirect germination (شكل: 21_14 ب)، وتكون النتيجة انقسام المحتوى البروتوبلازمى للحافظة السبورية الى عدد هائل من السبورات اللاجنسية لكل منها سوطان. وتفلت هذه السبورات اللاجنسية من خلال ثغرة عند قمة الحافظة سابحة فى مياه المطر والندى وتستقر اخيرا من اجل تكوين أنابيب جرثومية ومن ثم تخترق الاخيرة أنسجة ورقة النبات عبر احد ثغورها.

وفى ظل درجات الحرارة العالية (وتعتبر المثلى منها هى درجة 24) ربما يحدث الانبات المباشر (شكل 21_ 14 جـ) وهو الاقل شيوعا تسلك الحافظة السبورية هنا مسلك السبور، اذ تنشأ عنها انبوبة جرثومية سرعان ماتخترق أدمة (كيوتكل) cuticle، الورقة وتنمو بداخلها، وربما يمكن تفسير الانبات غير المباشر على انه مثال على استبقاء صفة من صفات أسلاف النبات. فعلى الرغم من ان الفطر المسبب لمرض اللفحة المتأخر يعتبر من النباتات الارضية الا أنه يبرز سمة بدائية فى دورة حياته بانتاجه سبورات متحركة وربما كانت هذه الطريقة هى التى يستخدمها أسلاف هذا الفطر وغيره من الفطريات، التى كانت كلها مائية.

ولا يقتصر انتقال الحافظات السبورية الى الاوراق فقط ولكن الحافظات تنتقل بالماء ايضا متغلغلة فى التربة حيث تنبت فيها، ومن ثم تخترق درنة البطاطس، ونتيجة لهذه الاصابات، أو بسبب انتقال العدوى اثناء حصاد المحصول ربما تتعفن الدرنات قبل جنيها او ينمو عليها العفن اثناء تخزينها (شكل: 21_15). اذا ماخزنت درنات البطاطس المصابة بالعدوى او اذا مااستخدم جزء من درنات مصابة لزراعتها فى الربيع التالى، تمتد الخيوط الفطرية خلال الانسجة الجديدة للبراعم المتفتحة فى البطاطس (فسائل) sprouts. وسرعان مايبدأ الفطر فى انتاج سبورات sporulate تعلو أوراق وسيقان النباتات الفتية. تحدث العدوى الاولى فى الموسم عندما تنقل الحافظات السبورية



شكل (21_15) مقطع فى درنة بطاطس تعفنت جزئيا بسبب فطر اللفحة المتأخر .

الناتجة بزخات المطر أو بفعل هبوب الرياح، ومن ثم تنتقل العدوى المرضية الى نبات مجاور سليم. يعتبر التكاثر الجنسى فى فطر النخر المتأخر من النوع غير متماثل الامشاج oogamous غير أن البويضات المخصبة oosproes لم تلاحظ الا نادرا حتى عام 1955. ولكن المعروف الان عن هذا الفطر انه من النوع متباين الثالوس heterothallic، ومن المعروف أيضا ان هناك نمطين قرينين وان البويضات المخصبة تتكون بوفرة فقط عندما تتلامس خلايا أحد النمطين مع خلايا النمط الآخر. ومن الغريب حقا على حد معرفتنا حتى الان ان النمطين القريبين يقتصر وجودهما معا على المكسيك وحدها حيث يوجدان بكميات متساوية (اى بنسبة 1 : 1) وحيث ان فطر اللفحة الموجود فى امريكا الشمالية ومعظم باقى مناطق العالم يعود الى نمط واحد فقط منهما، لذا يندر انتاج البويضات المخصبة. ومن المعتقد ان مثل هذه الاكتشافات الخاصة بالتكاثر الجنسى لفطر اللفحة سوف تقود حتما الى فهم افضل لآلياته الوراثية genetic mechanisms وكذلك لآليات تسببه فى المرض.

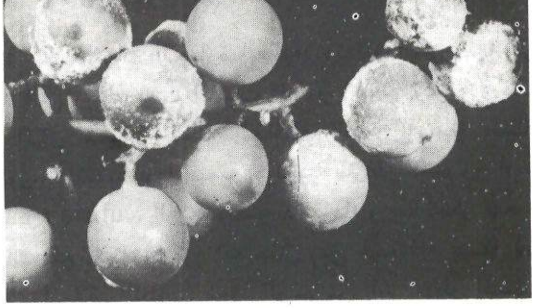
لايزال حتى أيامنا هذه مرض اللفحة المتأخر للبطاطس من الامراض الهامة على الرغم من ترسانة مبيدات الفطريات fungicides التى نملكها. فعلى سبيل المثال لقد بلغت نسبة خسارة فى مقاطعة واحدة هى مين Maine حوالى 16٪ فى المتوسط من مخزون البطاطس فى عام واحد، على الرغم من أن المزارعين قد أنفقوا مايزيد عن المليون دولار على رش المحاصيل بالمبيدات للسيطرة على المرض

يسبب فطر اللفحة المتأخر للبطاطس مرض اللفحة المتأخر لنبات الطماطم ، تتشابه اعراض مرض اللفحة فى الطماطم مع مثيلاتها فى البطاطس، كما تنتقل العدوى الى ثمار الطماطم وتتعرض الاخيرة للتعفن اثناء تخزينها او اثناء النمو. ينتشر مرض الطماطم هذا فى الولايات الجنوبية لامريكا. ويقل خطره وأهميته فى الاماكن الاخرى، غير انه يظهر احيانا على شكل اوبئة، ولقد اجتاح وباء منها النصف الشرقى للولايات المتحدة عام 1946 مما قلل المحصول بنسبة 50٪ تقريبا وتسبب فى خسائر قدرت بحوالى 50 مليون دولار.

البياض الزغبى: The Downy Mildews (Sclerospora)

تعتبر هذه الفطريات شديدة القربى من بعضها البعض ولها دورة حياة مشابهة لدورة حياة الفطر المسبب لمرض اللفحة المتأخر. ولقد اكتسبت تسميتها بسبب مظهرها الذى يشبه العفن، عندما تعلو أسطح أوراق النباتات المضيفة وكذلك اعضائها المتأثرة بالمرض. والانواع الاكثر شيوعا وتدميرا هى البياض الزغبى الذى يصيب الكرنب وحشيشة الدينار hops والخس والبصل والخيار والتبغ والسبانخ

شكل (21 ـ 16) عفن البياض الزغبى downy mildew (Plasmopara viticola) ينمو على ثمار العنب .



وفاصوليا ليما lima bean والبازلاء والعنب (شكل 21ـ16). أما البياض الزغبى (Sclerospora) الذى يصيب الذرة فهو من اعتى الامراض المدمرة لهذا المحصول فى العديد من اقطار اسيا وخصوصا المناطق الاستوائية المنخفضة.

وكما فى حالة فطر اللفحة المتأخر ربما تكون حافظات السبورات النفضية (المتساقطة) deciduous sporangia انابيب جرثومية (انبات) germ tubes فى بعض الانواع، وفى انواع اخرى تتكون السبورات اللاجنسية، ويمكن ان يحدث الانبات فى انواع ثالثة باحدى الطريقتين المذكورتين، وكل الانواع المذكورة اعلاه تعتبر غير متماثلة الامشاج، التى تنتج انثريدات واوجونات (مولدات البيض) ضمن انسجة المضيف، عند اصابة العنب بالبياض الزغبى تعلو سطوح اوراقه نموات عفنية بيضاء تتسبب فى قتل انسجتها. وربما يصيب هذا الفطر ايضا المجاميع الخضرية الفتية وكذلك المحاليق وربما يصيب ايضا الثمار الفتية وبسبب ظهور هذا المرض بصورة وبائية اصابت مزارع الكروم فى فرنسا تم الكشف عن مزيج بوردو bordeaux mixture عام 1982م وهذا المزيج المعروف جيدا هو خليط من كبريتات النحاس والجير والماء ويستخدم فى الرش، وثبتت فعاليته، لذا اصبح من اهم الاسلحة فى مقاومة هذا المرض النباتى، غير ان مزيج بوردو قد افل نجمه امام المضادات العضوية للفطريات التى ثبتت فعاليتها وقلة تسميمها للنباتات.

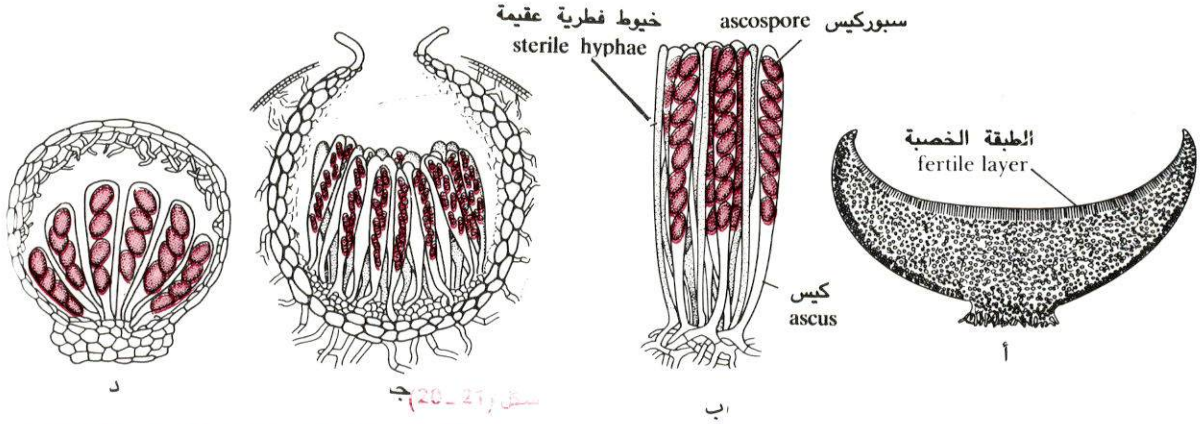
الفطريات الكيسية (الزقية) Ascomycetes (Sac Fungi).

تكون الفطريات الكيسية مجموعة من اكبر مجاميع الفطريات، اذ تحتوى هذه المجموعة على كل من البياض الدقيقى powdery mildews والخمائر yeasts، وانواع كثيرة من الاعفان السوداء والخضراء المزرقة black and blue – green molds الشائعة، والفطريات القمعية cup fungi والغوشنات morels والكمآت trufflasوغيرها الكثير. تسبب الفطريات الكيسية ايضا امراضا خطيرة مثل لفحة القسطل chestnut blight ومرض الدردار الهولندى Duch elm disease والعفن البنى للثمار الحجرية brown rot of stone fruits وتجعد اوراق الخوخ peach leaf curl، ومرض جرب التفاح apple scab، والعفن الرخو المائى watery soft rot وعفن القطرات الرخو drop soft rot. اللذين يصيبان الخضروات والعفن الاسود black rot الذى يصيب البطاطا الحلوة وتبقع اوراق البرسيم الحجازى الشائع common leaf spot of alfalfa، وعفن جرب الحبوب scab and foot rot of cereals، ومرض عقد البرقوق السوداء blast knot of plums وعفن ساق وكوز الذرة، stalk and ear rot of corn واخيرا آفة الرز black of rice، يعتبر العديد من انواعها من الاصناف الرمية Saprophytic، وتتواجد فى التربة الغنية والاخشاب المتحللة، او فى اى مكان يتاح فيه الغذاء والرطوبة.

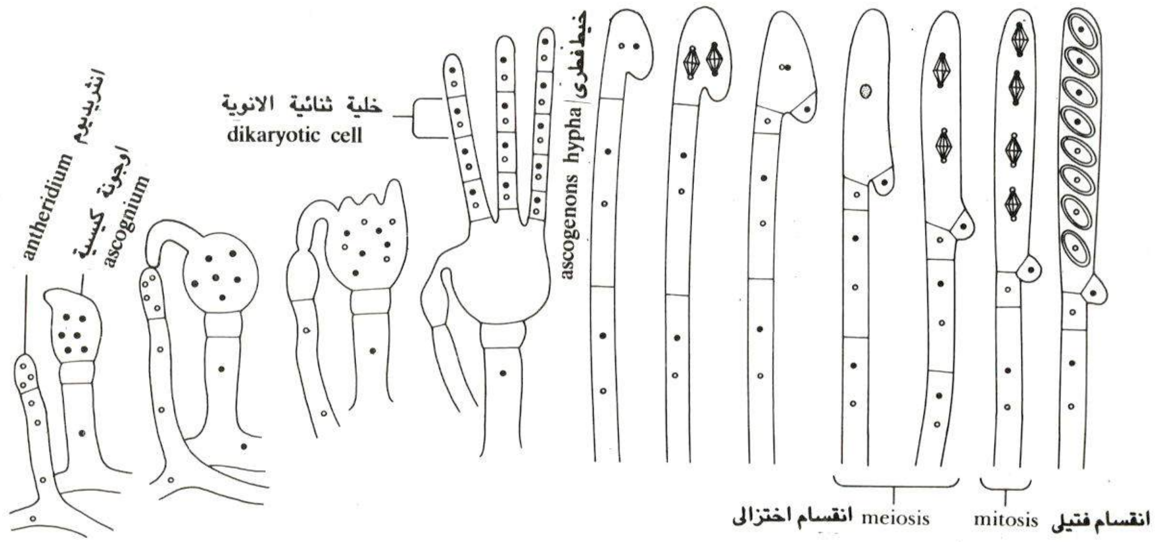
تكون الخيوط الفطرية للفطريات الكيسية مقسمة بحواجز (محجزة) اى ان الخيوط مقسمة بجدران عرضية، ولايكون الحاجز الواحد مكتملا، ولكنه مزود بثقوب عند وسطه، ويمكن للسيتوبلازم والانوية التحرك من خلية خيطية hyphal cell الى اخرى عبر هذه المسام، وبذا تكون الخيوط الفطرية عبارة عن مدامج خلوية coenocytic فى الاساس.

يتكون الكونيديوم (غبيرة) conidium. وهو اشيع انماط التكاثر اللاجنسية اما منفردا او مجمعا فى سلاسل توجد عموما عند قمة خيط فطرى تخصصى يطلق عليه اسم حامل الكونيديا conidiophore(انظر أشكال : 21 ـ23، 24، 26) وتكون هذه السبورات غير متحركة كما تنبت عن طريق تكوين انبوبة جرثومية وربما يقوم نفس الغزل الفطرى mycelium، الذى ينتج الكونيديا بانتاج سبورات المرحلة الكاملة perfect stage تلك التى تسمى فى هذه الحالة السبورات الكيسية asscospores، تتكون السبورات الكيسية فى طرف متضخم من الخيط الفطرى يشبه الكيس ويتسمى باسمه ascus (شكل 21 ـ 17 ب) تقترن الاكياس عادة فى الفطريات الكيسية بوجود خيوط فطرية عقيمة وتتولد على او داخل اجسام ثمرية fruiting bodies محددة الشكل، ونذكر فيما يلى اهم انواعها (شكل 21 ـ17):

(1) تتكون اكياس النوع الاول غير مغلفة ولكنها تشكل طبقة مخصبة شبه عمادية palisadlike fertile layer شكل (21 ـ 17 أ)، تغطى سطح الجسم الثمرى الذى يكون لحميا فى العادة، مثلما هى الحال فى الفطريات القميعة cup fungi (شكل : 21 ـ 19) والغوشنات morls (شكل: 21 ـ 21).



شكل (21ـ17) قطاعات طولية فى الاجسام الثمرية والاكياس والسبورات الكيسية للفطريات الكيسية. (أ): كأس يوضح الطبقة الخصبة المكونة من الاكياس المرتبة ترتيبا شبه عمادى. (ب): الاكياس والسبورات الكيسية والخيوط الفطرية العقيمة. (جـ): ثمرة كيسية مفتوحة لفطر جرب التفاح (Venturia inequalis) مدفونة فى الأنسجة الميتة فى الورقة (د) ثمرة كيسية مغلقة لفطر البياض الزغبى Microsphaera



شكل (21ـ18) رسم تخطيطى يوضح سلوك النواة فى المرحلة التامة لاحد الفطريات الكيسية.

(2) تكون أكياس النوع الثانى محاطة بتركيب شبه دورقى flask – shaped structure دقيق الحجم (لايزيد قطره عن المليمتر الواحد) ويسمى بالثمرة الكيسية المفتوحة perithe-cium (شكل 21 ـ 17 ج) تحوى فتحة عند قمتها كى تفلت منها السبورات الكيسية.

(3) تكون اكياس النوع الثالث حبيسة جسم كروى يسمى بالثمر الكيسية المغلقة cleistothecium (شكل: 21 ـ 17 د) وهى تشبه الثمرة الكيسية المفتوحة، غير انها تخلو من الفتحة العلوية، لذا لاتتحرر السبورات الكيسية الا بعد تهتك جدار الثمرة الكيسية ويتم تحرير السبورات الكيسية من اكياسها

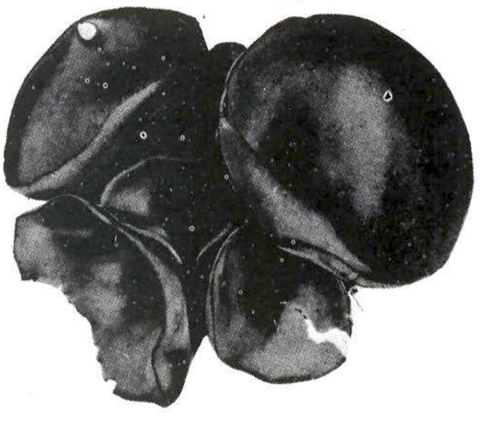
بطـرق عديـدة أذ يتطلب هذا النـوع فى بعض الانـواع تحلـل الكيس نفسه، ولكن الحالة الاعم هى ان السبورات تقـذف عبر فتحة او شق طرفيين.

تشتـرك انواع كثـيرة من الفطـريـات الكيسيـة فى طبيعـة نشاطها الجنسى المتعلق بتكون السبور الكيسى، كما هو مبين فى الـرسم التخطيطى شكل (21 ـ 18) امـا الاعضاء الجنسيـة (حافظات الامشـاج) gametangia والتى تختلف فى حجمها ـ الاعضـاء الذكـرية (الانثـريدات antheridia) والانثـويـة (الاوجـونات الكيسيـة ascogonia)فتتطور داخل جسم ثمرى فتى (مثـلا عند قـاعدة القمـع او الثمرة الكيسيـة المفتوحـة)، ويكون نوعا حافظات الامشاج فى الانواع متجانسـة الثالـوس homothallic نـاشئـين عـن نظـام خيطى واحـد hyphal system كما ينشآن فى الانواع متباينة الثالوس neterothalli عن خيوط فطرية لانماط مقتـرنة مختلفـة different mating tyoes يتلامس الانثريد مع عنق الاستقبال receptive neck الموجود فى طرف الاوجونة الكيسية، ثم تنشأ ثغرة منها الانوية التابعة للانثريد وتدخـل الاوجونـة الكيسية. ولايتم الانـدماج النووى nuclear fusion فى الحال رغما عن ذلك، فقبلهـا تقوم الاوجونة الكيسية بعدد من عمليـات تشبه التبـرعم bud like processes ينمو كل منهـا مكونـا خيطا فطـريا مـولدا للكيس ascogenous hypha يتلقى كـل من هذه الخيـوط فى مراحـل نمـوه المبكرة مجمـوعـة او اكثـر من ازواج الانـويـة paired nuclei، ويكون العضو الواحد فى كل زوج خارجا فى الاصل من الانثـريد، امـا العضـو الاخـر فيكـون منشؤه من الاوجـونـة الكيسية، تتعرض هذه الازواج الآن لسلسلة من الانقسـامات الفتيلية فى آن واحد، ويعطى كل انقسام منها زوجا من الانـوية لكل واجدة من خلايا الخيط الفطرى المشكلة تباعا.

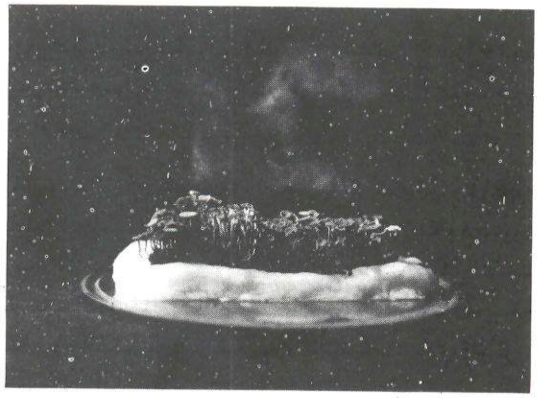
امـا الخلية الطـرفية لـواحد من الخيـوط الفطريـة مولـدة الاكياس ascogenous hyphae فتنثنى على نفسهـا بعد ذلـك مكونة مخطافا hook كمـا ان زوج الانويـة الموجـود فى الخلية ينقسم متزامنا ومن ثم تتكون جدران عرضية بحيث ينتـج عن ذلـك ثلاث خـلايا ، احـداها طـرفية تحـوى زوجا من الانـوية وخليتان فى كل منهما نواة واحدة. ويندمج زوج الانوية ومن ثم تصبـح الخليـة المحتـويـة عـلى نـواة ثنـائيـة المجمـوعـة الكروموسومية deloid nucleous وهى نمطيا النواة الـوحيدة ثنائية المجموعة الكروموسومية فى دورة حياة الفطر هى منشـأ الخليـة الكيسية الام ascus mother cell ثم تتعـرض النواة ثنائية المجموعة الكروموسومية الى انقسـام اختزالى ثم تنشـأ منها اربع انـوية احـادية المجمـوعة الكـروموسـومية ومن ثم تنقسم كل واحدة من الانوية الاربع مرة اخرى انقساما فتيليا وتتكون جدران خلوية كـل واحدة من الثمـانى انويـة الناتجـة وكذلك السيتوبلازم المصاحب لها، مما يكون اخـيرا السبورات الكيسية ascospores.

تتطابق دورة الحياة فى الفطريات الكيسية بصورة عامة مـع الحالة الموجودة فى كائنات حية اخرى، يتعاقب فيها طور مديـد احادى المجموعة الكروموسومية وطور احـادى الخلية وثنـائي المجموعة الكروموسومية. وعلى الرغم من ان الخيوط الفطريـة الخضرية vegetive hyphae كثيرا ماتتكون من خلايا عـديدة الانـوية multinucleate nuclei الا ان هـذه الانويـة تكـون احادية المجموعة الكروموسـومية ورغمـا عن ذلك فليس الامـر بهذه البساطة فهناك بعض التعقيدات ويكمن احداها فى تأخـر الوقت بين اندماج حاملات الامشاج وبين الانـدماج النـووى، ويكون الاخير مكـافئا لـلاخصاب وتكـون فترة التـداخل هـذه معلمة بوجود الانوية المزدوجة والتى تسمى بثنائيـات الانويـة dikaryons، وذلك فى الخيوط الفطرية ـ مولدة الاكيـاس asc- ogenous – hyphae تتكون أعداد هائلة من الخيـوط مولـدة الاكياس وذلك من كل اوجونة كيسية كمـا ان كل هـذه الخيوط معرضة للتشعب، وتعتبر هذه السمـات مفيدة بـين غيرهـا من الطرق، لكونها تزيد من عدد الانوية المزدوجة والمتاحة لتكـوين الانوية ثنائية المجمـوعة الكـروموسـوية، ومن هنـا تزيـد عدد الاكياس والسبورات الكيسية، ويكـــون طـــور ثنائـيات الانوية هذا dikaryoti phase قصيرا نسبيا فى الفطريات الكيسية، ولكنه كما سنشاهد من مميزات دورة الحياة فى الفطريات البازيدية النمطية typical basidiomycetes.

ومن بين الفطريات الكيسية متباينة الثالوس heter- othallic Ascomycetes يوجد عفن وردى (Neurospora pink mold) ، ويستخدم كثيرا فى الدراسات الوراثية تتضمن دورة الحياة كلا من الكونيديا والسبورات الكيسية. تعود أربعة سبورات كيسية فى الكيس الواحد الى النمط القرين (A)، بينما تعود أربعة اخرى الى النمط القرين (a). ويمكن حصر الازواج الاربعة من السبورات بدءا من أحد



شكل (21 ـ 19) اجسام ثمرية لفطر كأس البيزيزا
Cup Fungus (Peziza)



شكل (21 ـ 20)
لفظ السبورات فى أحد الفطريات الكأسية ـ الكليروتينيا a Cup Fungus (Sclerotinia) تظهر السبورات الملفوظة على شكل سحابة أعلى النبات.

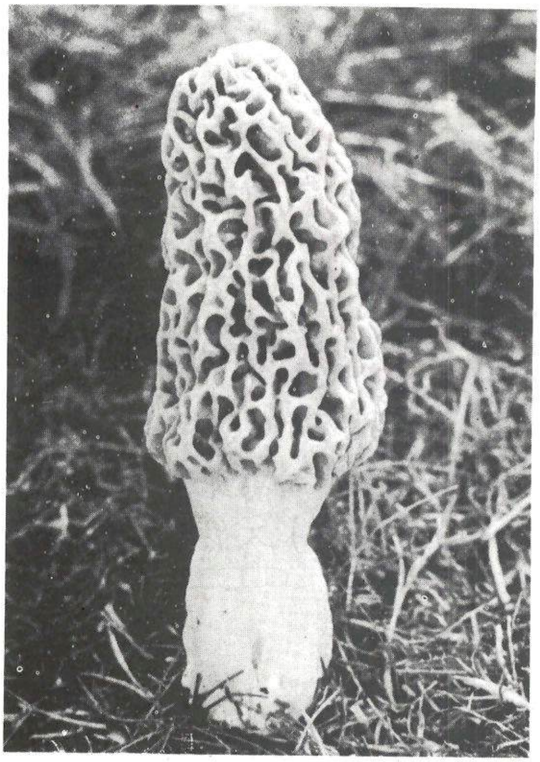
اطراف الكيس، ويكون عضوا كل زوج متشابهين وراثيا بينما لايتشابهان مع اعضاء الازواج الاخرى. يمكن عزل السبور الكيسى الواحد، ومن ثم إنباته فى مزرعة كل على حدة وبالترتيب الذى يقع فيه كل سبور فى الكيس، مما يتيح الفرصة لاجراء تحليل لكل واحد من النواتج الاربعة للانقسام الاختزالى الواحد single meiosis. وعلى سبيل المثال فبدراسة Neurospora crassa أجريت التجارب (بما فى ذلك الهجائن hybridizations) مما كشف عن تحديد 368 من الجينات وتحديد مواقعها الخاصة بها على الكروموسومات السبعة التى تؤلف العدد الكروموسومى الفردى haploid number.

ويمكن التوصل الى فهم عام للطبيعة المختلفة لانواع الفطريات الكيسية وأهميتها للانسان، بصورة افضل وذلك عن طريق اعتبار عدد من ممثلى هذه الطائفة.

الفطريات الكأسية والغوشنات (فطر يؤكل): The Cup Fungi and Morels

إن الفطريات الكأسية التى تصنف فى عدة فصائل وعائلات تتميز بجسم ثمرى جلدى leathery أو لحمى fleshy أو هلامى gelatinous يتخذ شكل الكأس او القرص او الزهرية vase shaped يتراوح حجم الكؤوس (شكلا 21ـ19، 21ـ20) بين بضعة ملليمترات و75 ملليمتر فى القطر، كما تتخذ الوانا ناصعة. بعض الانواع مترممة aprophytes، تعيش على الخشب الميت او الدبال. وتوجد أجسامها الثمرية فى أرض الغابات بين الربيع والخريف. لم تظهر مرحلة الكونيديا فى هذه الانواع، وتكون أنواع اخرى منها طفيلية تعيش على المحاصيل وتنتج كونيديا علاوة على السبورات الكيسية فى دورة حياتها. اما لفظ السبورات الكيسية فى الفطريات الكأسية فتصاحبه ظاهرة تعرف باسم النفث puffing، ويمكن ملاحظتها بسهولة فى الفطريات الكأسية الاكبر حجما. فعندما تنضج السبورات يزيد انتفاخ كيسها، وتسبب الصدمة مثل لمس الجسم الثمرى أو هبوب رياح قوية، لفظ كل الاكياس مابداخلها دفعة واحدة، مما يسبب ظهور سحابة دخان من السبورات فى الهواء (شكل 21ـ20).

أما الغوشنات فتحوى حوالى 15 نوعا، تنتشر فى العديد من بقاع الارض خصوصا فى المناطق المعتدلة وتسمى احيانا (عيش الغراب) الاسفنجى sponge mushrooms أو «عيش الغراب «بهيئة قرص النحل» honey comb Mushrooms. وهو نوع يؤكل بعد تجهيزه بنفس طرق طهى عيش الغراب وتنمو الغوشنة فى التربة الغنية مع بواكير الربيع ويسهل تمييزها. يتكون جزؤها الثمرى، (شكل 21ـ21) من ساق سميكة جوفاء ضاربة فى البياض Thick whitish hollow stalk، ينتهى بقبعة مخروطية بنية مصفرة، يدكن لونها



شكل (21 ـ 21) غوشنة Amorel (Morchella esculenta)

بتقدمها فى العمر، لايزيد طول بعض أنواعها عن 25 ملليمتر بينما يزيد طول أنواع اخرى عن الـ 100 ملليمتر، يتغضن سطح القبعة وينطوى على نفسه وتتولد فيه الاكياس فى طبقات شبه عمادية palisadelike تبطن التجويف.

الأعفان الفطرية المسحوقية (البياض الدقيقى) The Powdery Mildews

تنتج الاكياس والسبورات الكيسية فى هذه الاعفان داخل ثمرات كيسية مقفلة cleitothecia بدلا من الكؤوس المفتوحة. يتخذ البياض الدقيقى اسمه من مظهره المسحوقى الابيض الذى يظهر على الاوراق وأعناقها والسيقان الفتية والبراعم وحتى أزهار النباتات المصابة. تشمل قائمة النباتات المعرضة للاصابة بهذا الفطر الغلال ونباتات الاعلاف



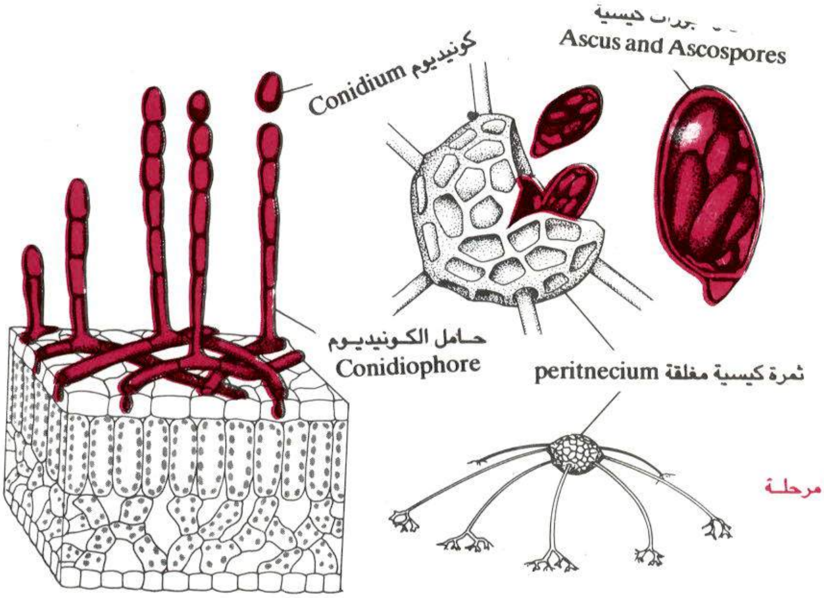
شكل (21 ـ 22)

العفن الفطرى يعلو سطح ورقة الصفصاف Willow [عفن السالكس Powdery mildew (Salix)]

forage ونجيل المراعى lown grasses وأنواع النفل clovers والعنب والتفاح وحشيشة الدينار والصفصاف (شكل 21ـ22) ، والبلوط والليالك والورود والزينياس zinnias والقبس phlox والكرز بانواعه والقرعيات cucurbits والبازلاء والفاصولياء. تستطيع بعض أنواع البياض الدقيقى مهاجمة نوع بعينه من النبات المضيف (العائل) بينما تستطيع انواع اخرى اصابة اكثر من 350 نوعا نباتيا مبعثرة بين العديد من العائلات النباتية . وبعض أعفان البياض الدقيقى يمكن تقسيمه الى عدد من الاقسام الفرعية تضمها أجناس فسيولوجية، يتخصص كل منها فى مهاجمة عدد محدود من النباتات المضيفة.

يكون نمو الفطر ظاهريا، اذ يتكون فى بداية موسم النمو من كتل من الخيوط الفطرية المتشابكة التى تستمد غذاءها عن طريق بث ممصات تخترق خلايا البشرة الحية. ويكون الفطر فى هذا الوقت عددا هائلا من الكونيديومات (شكل 21ـ23 الى اليسار) تتألف من سلاسل عند أطراف حوامل الكونيديومات المنتصبة erect conidiophores. تحمل الرياح الكونيديومات الى نباتات اخرى من نفس نوع النبات المصاب او الى النباتات المجاورة. حيث تنبت هناك.

تتكون الثمرات الكيسية المقفلة (شكل 21ـ23 الى اليمين) قرب نهاية فصل النمو وتكاد تظهر للعين المجردة كبقع سوداء فى حزم العفن الفطرى الذى يعلو سطح الورقة. كما تحمل نهايات متجعدة عادة او متشعبة عند أطرافها وتتخذ اشكالا



شكل (21 ـ 23)

مراحل فى دورة حياة أحد الأعفان الفطرية .
(إلى اليسار) مرحلة الكونيديا . (إلى اليمين) مرحلة الثمرة الكيسية المغلقة

مميزة لكل جنس تستطيع الثمرات الكيسية المغلقة، والتى يحوى كل منها أكياسا او كيسا، العيش شتاء وما أن يحل الربيع حتى تمتص الثمرات الكيسية المغلقة أكياس الماء ومن ثم تنتفخ. ثم تنفتح الثمرة الكيسية حتى تلفظ الاكياس محتواها السبورى عن طريق الانفجار. يتراوح عدد السبورات الكيسية بين 2ـ8 تبعا لاختلاف النوع. ويستحيل على الكثير من الانواع تكوين ثمرات كيسية مغلقة فى الاجواء الدافئة، ويكون تكاثرها حينئذ بالكونيديا بمفردها. يستخدم العديد من مبيدات الفطريات fungicides بما فى ذلك الكبريت وسيكلوهكسامايد Cycloheximide فى التحكم فى الاعفان الفطرية المسحوقية والقضاء عليها. وقد تمكن المتخصصون فى تهجين النباتات من استنباط اصناف تقاوم الاصابة بالبياض الدقيقى لانواع عديدة من النباتات.

الاسبرجيلس والبنسيليوم: Aspergillus and Penicillium

تلقب هذه الاجناس عادة بالأعفان السوداء والزرقاء والخضراء، وتوجد على شكل بقع او طبقات سميكة تتخذ اللون الاسود او الاخضر المزرق او البنى او الاصفر تبعا لنوعها ولنوع المادة التى ينمو عليها الفطر. تنتشر كثيرا أنواع هذه الاجناس وتنمو مترممة فوق كل أنواع المواد العضوية مثل الخبز وقديد اللحم. cured meat والمنسوجات القطنية والصوفية والسلع الجلدية والحبوب والاخشاب وربما تجدها ربة البيت بصورة حصيرة رقيقة ضاربة الى الخضرة او السواد على سطح المربى او حلوى الجلى. ولايكون هذا الفطر ساما، ولذلك يعتبر الطعام صالحا للاكل بعد إزالة طبقته المصابة. تستطيع هذه الاعفان وغيرها أن تترعرع فى ظل نسب التركيز الحامضية العالية وفى بيئات سكرية او ملحية عالية التركيز، وكلها كما نعرف من العوامل المثبطة لنمو البكتريا. كما تنمو هذه الاعفان متطفلة علاوة على ترممها وتسبب تفسخ الفواكه والخضروات اثناء نقلها وتخزينها.

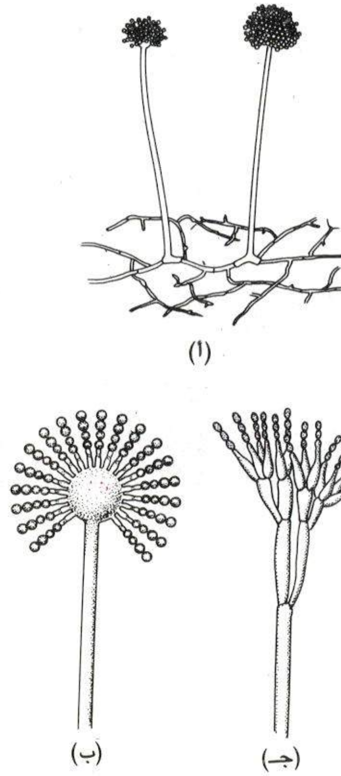
تسبب بضعة أنواع من الاسبرجيلس امراضا خطيرة للدواجن وغيرها من الطيور الاليفة والبرية، كما تصيب المواشى الصغير منها والكبير على حد سواء والخيول، ولكنها نادرا ماتصيب الانسان . ومجموعة هذه الامراض تعرف فى مجموعها بالاسبرجيلوسات aspergilloses وتنحصر كلها فى

الاسبرجيلس وغيره من الانواع الاخرى وكذلك انواع البنسيليوم لها أهمية كبرى فى ارتفاع درجة حرارة الدريس الرطب hay وكذلك الحبوب الرطبة عند فسادها.

يكون التكاثر اللاجنسى لكل من الاسبرجيلس والبنسيليوم بالكونيديومات conidia المتولدة فى سلاسل عند نهايات حواملها Conidipohores المنتصبة. يحمل حامل الكونيديوم للاسبرجيلس (شكل 21ـ24ب) العديد من الأعناق القصيرة (وتسمى أشباه القوارير Sterigmata ومنها تنشأ سلاسل الكونيديومات. اما حامل كونيديوم البنسيليوم (شكل 21ـ24جـ) فيكون متشعبا فى العادة وتحمل كل شعبة منه عنقودا من اشباه القوارير المطولة التى تنتج بدورها سلاسل الكونيديومات. تنشأ الكونيدومات بأعداد ضخمة. وهى المسئولة عن اللون المميز لمختلف انواع البنلسييوم وتنتشر بسهولة بالتيارات الهوائية . كما ان بعض الانواع تنتج ثمرات كيسية مقفلة cleistothecia

تتمتع انواع بعينها من هذه الاجناس بأهمية اقتصادية وينتفع بها فى اعداد بعض الاطعمة والمنتجات الهامة للانسان. فأنواع الاسبرجيلس النامية على السكر تكون حامض الليمونيك cirtic acid وغيره من الاحماض العضوية . هناك انزيم فعال هو الاميليز amylase ، يسمى تجاريا taka – diastase ، يستخلص من نوع الاسبرجيلس المسمى Aspergillus oryzae ويمكن الحصول عليه من تنمية الفطر على ماء غلى القمح او نشاء الرز المسلوق . اما الانزيم المستخلص واستخداماته الطبية محدودة فيتمتع فى ظل الظروف المناسبة بالقدرة على تمييء hydrolyze 3000 مرة قدر وزنه من النشاء خلال عشر دقائق . كما ان هناك سمة مفيدة لنوع الاسبرجيلس المسمى Aspergillus) fumigatus) تكمن فى انتاج مضاد حيوى فعال ضد الكائنات الحية المسببة للديسنتاريا الاميبية Amoebic Dysentery

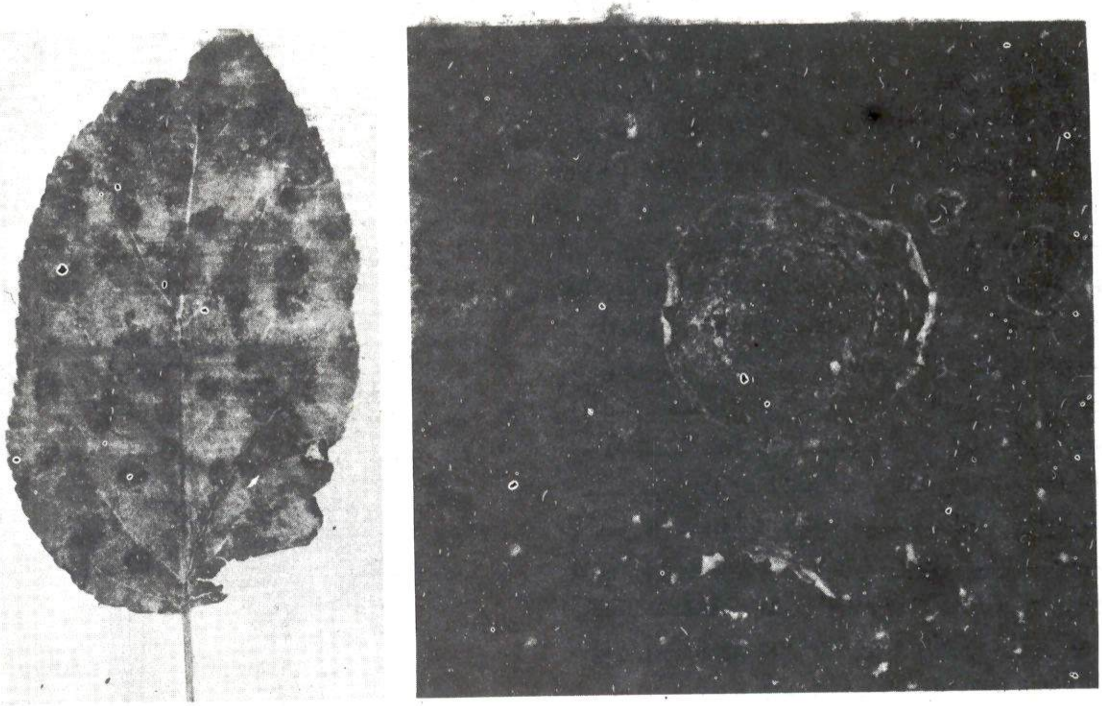
يعود طعم ومميزات انواع جبن الكاميبر والروكفور والستيلتون والجرجنزولا الى نوع من البنسيليوم يستخدم فى انتاجها . كما ان المنفعة العظمى للبنسيليوم تكمن فى انتاج البنسيلين Penicillin وهو مضاد حيوى قوى يستخدم فى مقاومة وايقاف الامراض (فصل ـ 20).



شكل (21 ـ 24)

الاسبراجيلس والبنسيليوم .
(أ) الاسبراجيلس ، النبات بكامله ، (ب) الاسبراجيلس ، حاملة كونيدية تحمل سلاسل من الكونيديا .
(جـ) البنسيليوم ، حاملة كونيدية متشعبة تحمل كونيديوماتها

اصابة القصبة الهوائية والشعب الهوائية، وتولد أعراضا تشابه اعراض مرض السل وتحدث الاصابة من جراء استنشاق السبورات الناتجة على الحبوب المتعفنة والقمامة وغيرها من المواد العضوية وقد يكون للاسبرجيلس وغيره من الفطريات دخل فى اصابة أذن الانسان. ويكون نوع الاسبرجيلس المسمى (Aspergillus fumigatus) هو النوع المسبب لامراض الاسبرجيلوسات. إن هذا النوع من



شكل (21 ـ 25) اعراض مرض جرب التفاح . (إلى اليسار) اعراض المرض تظهر على ورقة تفاح مصابة . (إلى اليمين) جرب التفاح (صورة مكبرة) تعلو سطح الثمرة .

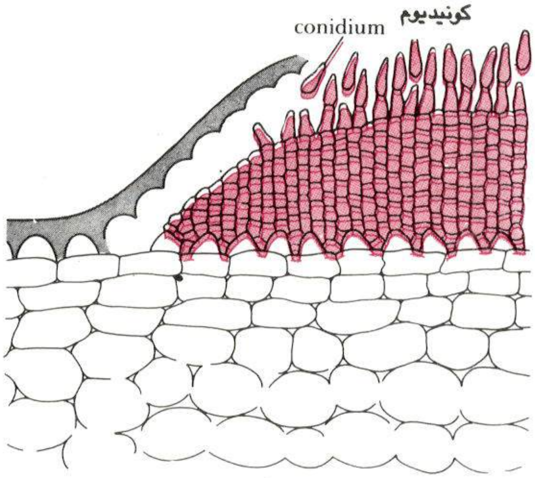
جرب التفاح : Apple Scab

يعتبر هذا المرض مثالا ساطعا لمرض النبات حيث يكون مهما فى مكافحته الوقوف على قدر من المعرفة لدورة حياة الكائن الحى المسبب له ، وذلك فى سبيل اتخاذ تدابير صالحة للوقاية . ويعتبر هذا المرض شائعا عمليا فى كل مكان تنبت فيه اشجار التفاح والتفاح البرى crabapple . ومن بين اعراضه ظهور مساحات ناتئة وعديمة اللون على الاوراق ثم يقع جربيه على الثمار (شكل : 21ـ25) وكثيرا ماتتقزم وتتشوه الثمرة كلها . اما الفطر المسبب للمرض فهو النوع (Venturia inequalis) ، ويعتبر طفيليا خلال مرحلة من تطوره ، ثم يواصل نموه مترمماً خلال الطور التالى . اما المرحلة المترممة فتوجد على الاوراق الميتة لشجرة التفاح على الارض وتحوى الاخيرة خيوطا فطرية سرعان ماتنمو مكونة ثمرات كيسية مفتوحة Perithecia ، داخل انسجة الورقة (شكل 21ـ17جـ) وفى فصل الربيع تطرد السبورات الكيسية خلال فترات المطر ومن ثم تذروها الرياح الى براعم الازهار والاوراق غير كاملة النمو ، حيث تبدأ الاصابة وربما تطول فترات لفظ السبورات الكيسية حتى تصل لعدة اسابيع . اما الخيوط الفطرية المتكونة بعد اصابة الازهار والاوراق الفتية او الثمار فتنمو متطفلة تحت الادمة cuticle مباشرة ، وسرعان ماتنشأ اعداد كبيرة من حوامل الكونيديوم ، لاتلبث ان تنمو اعلى محطمة الادمة فى طريقها . ويخرج من كل حامل كونيديوم عدد من الكونيديومات عند طرفه (شكل 21ـ26).

تحمل مياه الامطار كونيديومات الاصابة الاولية -prim ary infection الى اوراق وثمار اخرى حيث تبدأ المرحلة التالية من الاصابة . وربما تسبب كونيديومات كل من الاصابتين الاولية والثانوية اصابات جديدة خلال طول

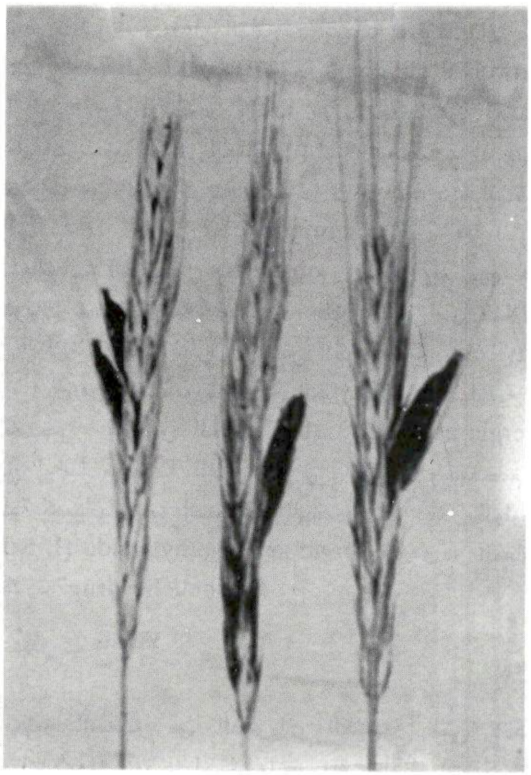
الموسم ، اذا ماتوفرت لها درجتا الحرارة والرطوبة المناسبتان . يعود الفطر الى مرحلته المترممة عندما تسقط الاوراق المصابة المحتوية على الخيوط الفطرية فى فصل الخريف .

يعتبر رش الاشجار بالسوائل الواقية او تعفيرها بالمساحيق المناسبة من اهم وسائل التحكم فى انتشار جرب التفاح . يجب البدء فى مثل هذه المعالجات مع بواكير الربيع وكذلك الاستمرار بها حتى نهاية فترة تفتح السبورات الكيسية . كما يجب متابعة هذه العملية خلال فترة النمو من اجل منع حدوث الاصابة الثانوية من جراء وجود الكونيديومات التى ربما تنمو على الرغم من عملية الرش المبكرة . هذا وان الرش المبكر قبيل فترة التزهير يكون ناجحا ايضا فى استئصال الفطر المذكور او قتله على الاوراق خلال بضعة ايام بعد بدء الاصابة . وبهذه الطريقة يمكن ان يكون المبيد الفطرى وسيلة لاستئصال الفطر والوقاية منه .



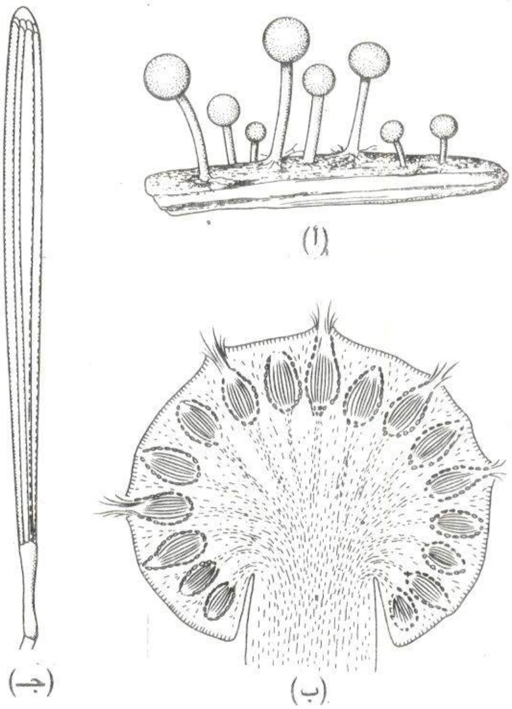
شكل (21 ـ 26) فطر جرب التفاح . المرحلة الكونيديومية فوق الثمرة.

شكل (21 ـ 27) ارغوتات فوق رؤوس الشيلم .



الارغوث (مرض الدابرة) Ergot

ان الارغوث مرض يصيب زراعة الحبوب مثل القمح والشعير والشيلم وكذلك يصيب اكثر من 200 صنف من الحشائش البرية والمزروعة . ويسببه احد انواع الفطريات الكيسية وهو Claviceps purpurea وانواع اخرى من الفطريات من جنس Claviceps . تظهر علامات المرض عند تكون الارغوتات ، وهى اجسام داكنة مطولة تبرز من رأس الحبة (شكل 21ـ27). تنتج هذه المرحلة من نمو الخيوط الفطرية داخل المبيض نتيجة للاصابة التى تقع اثناء فترة التزهير ومع استمرار النمو تتهتك انسجة المبيض ويحل محلها كتلة قطنية من الغزل الفطرى mycelium ، تغطى بطبقات من الحوامل القصيرة الكونيدية تحمل كونيديا بيضوية الشكل على اطرافها . وتختلط الكونيديا بافراز رحيقى يسمى الندة العسلية honey dew ، يكون جذابا للذباب وغيره من الحشرات . وتصبح هذه الحشرات بتغذيتها على الحريق ملوثة بالكونيديا ومن ثم تنقل السبورات الى الازهار الصحيحة حيث تبدأ اصابات جديدة . ومع انتشار العدوى يتوقف انتاج الكونيديا ومن ثم تتصلب حصيرة الغزل الفطرى



شكل (21 ـ 28) فطر الارغوت . (أ) : رؤوس الثمار الكيسية المفتوحة تنبت من الارغوت (ب) قطاع فى راس ثمرة كيسية مفتوحة ، توضح الثمار الكيسية المفتوحة مدفونة به (جـ) كيس يحوى سبورات كيسية شبه خيطية (مكبرا كثيرا) .

ثم تنشأ الارغوتات الكبيرة والقرنية وتكون بنية اللون او قرمزية داكنة وتتكون من كتل متراصة من الخيوط الفطرية سميكة الجدران . وتحل محل الحبوب . يكون الارغوت جسما ساكنا سرعان مايقع على الارض ويستمر فى سكونه خلال فترة الشتاء او ربما يختلط بالحبوب اثناء الحصاد . وفى كلتا الحالتين تنبت الارغوتات فى الربيع مكونة رؤوسا متكورة من الثمار الكيسية المفتوحة يجلس كل منها فوق عنق طوله حوالى 12 ملليمتر (شكل 21ـ28) توجد اعداد غفيرة من الثمار الكيسية المفتوحة دفينة فى انسجة كل رأس من هذه الرؤوس ، حيث تلفظ هذه الثمرات فيما بعد السبورات الكيسية ، وسرعان ماتصيب هذه السبورات الحبوب والحشائش اثناء فترة التزهير .

كان فلاحو اوروبا فى القرون الوسطى كثيراً مايصابون بمرض خطير عرف حينئذ بالارغوتزم ergotism وذلك عقب تناولهم خبزا اسود مصنوعا من الشيلم كان قد اصيب بمرض الارغوث . ومن اعراض هذا المرض تشنج الاطراف واختلاجها ومن ثم ظهور الغرغرينا gangrene فى الايدى والارجل . اما الماشية التى تتغذى على حبوب او حشائش مصابة فتصاب بالغرغرينا ايضا فى آذانها وذيولها وحوافرها . كما تسقط الابقار حملها وترتفع نسبة وفياتها .

تستبعد الطرق الحديثة لطحن الحبوب اختلاط الارغوتات بالطحين اثناء المعالجة ، ولاتحدث الاصابة الآن الا فى الحيوانات الاليفة التى تتغذى على الحشائش البرية . ومع ذلك انتشر فى عام 1951 وباء الارغوتزم فى قرية صغيرة فى فرنسا ونتج عنه تعدد الاصابة بالمرض وحدوث بعض الوفيات ومن آثار هذا المرض العديدة انه يسبب تقلصا فى العضلات الصغيرة والجدران المحيطة بالاوعية الدموية . وحيث ان هذا التقلص يؤثر فى الاوعية الدموية الدقيقة لذا فهو يسبب التقليل من الامداد بالدم ومن ثم يسبب الغرغرينا . ولقد وجد ان التأثيرات السامة لفطريات الارغوت سببها العديد من القلويات القوية powerful alkaloids . كما ان الارغوت يعتبر واحدا من العديد من اصناف الفطريات المستغلة فى العقاقير الطبية الحديثة . اذ ينتفع بمحتواها من القلويات بعد تنقيتها فى معالجة داء الشقيقة (الم نصف الرأس) migraine ، وكذلك فى التوليد (المعالجات القيالية) obstetrics . هذا ولم تعد هذه القلويات تستخرج من الارغوت البرى ولكن من سلالات عالية الانتاجية من فطريات جنس الكالفيسبس Claviceps النامية فى مزرعة مغمورة مع امدادها بالكميات المناسبة من الاكسجين . كما ان الحامض الليسيرجى lysergic acid ينتج ايضا بواسطة الفطر البرى والمزروع ويستخدم فى عملية كيميائية شبه اصطناعية للحصول على عقار الهلوسة lysergic acid diethylamide (L S D) وهو من العقاقير المخدرة Psychedelic drug .

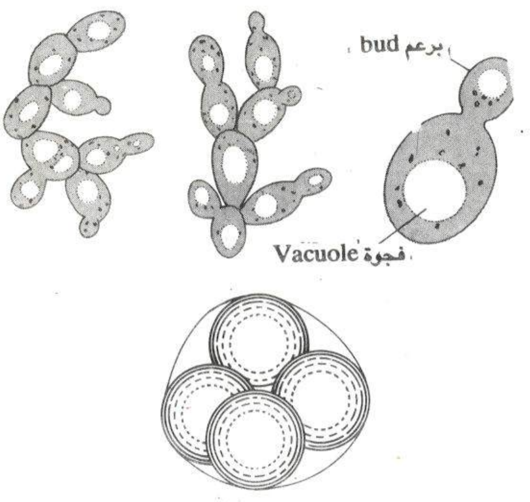
الخمائر : Yeasts

تعتبر الخمائر من الفطريات الكيسية التى لاتكون اجساما ثمرية . ووجه اختلافها عن باقى الفطريات يكمن فى

ان جسم النبات لايتألف من خيوط فطرية بل يتكون من خلية وحيدة كروية او بيضوية يغلفها جدار خلوى يوجد فى الكثير من الخمائر مثل خمائر الخبز او الجعة baker's or brewer's yeast (شكل 21ـ29). توجد فجوة تحتل اغلب الحيز داخل الخلية . يمكن ملاحظة العديد من حبيبات احتياطيات الغذاء داخل السيتوبلازم ، ويكشف عن وجود النواة بتقنيات تلوين خاصة .

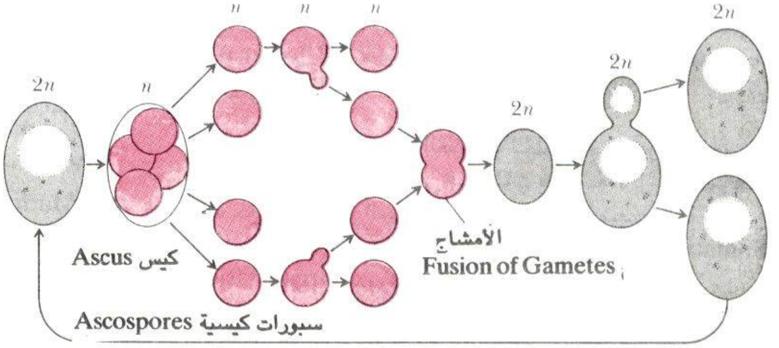
تتكاثر الخمائر خضريا وذلك بتكوين سبورات كيسية . يمكن للتكاثر الخضرى ان يحدث بالانقسام العرضى (الانشطارى transverse division (Fission او بالتبرعم budding او بكليهما معا ، علما بأن تكاثر اغلب الخمائر يتم بالتبرعم . عند التبرعم يبرز جدار الخلية الى الخارج فى بقعة صغيرة منه . يتسلم الانتفاخ المتكون السيتوبلازم اللازم من الخلية الام . ومن ثم يكبر حجمه ويصبح متخصرا (مختنقا) constricted عند قاعدته . يعقب ذلك انقسام نواة الخلية الام ، ومن ثم تتجرر إحدى النواتين البنويتين كى تدخل البرعم . وبعد ذلك إما أن ينفصل البرعم أو يدخل مع الخلية الأم فى طور تبرعم جديد ، مما يؤدى الى تكون مستعمرة من الخلايا (شكل 21 ـ 29) . تنتج خلية الخميرة الواحدة تحت الظروف المثلى مايزيد عن 20 برعما قبل أن تتوقف عن التكاثر . تظهر هذه البراعم من مناطق مختلفة على سطح الخلية الأم ، ونقصد بهذا أن البراعم لاتنشأ من نفس الموقع الذى سبق لغيرها أن نمت عليه .

تتكون الأكياس والسبورات الكيسية عندما تنمو الخمائر فى ظروف لاتلائم نشاطات الانقسام الخضرى . اذ تعتبر



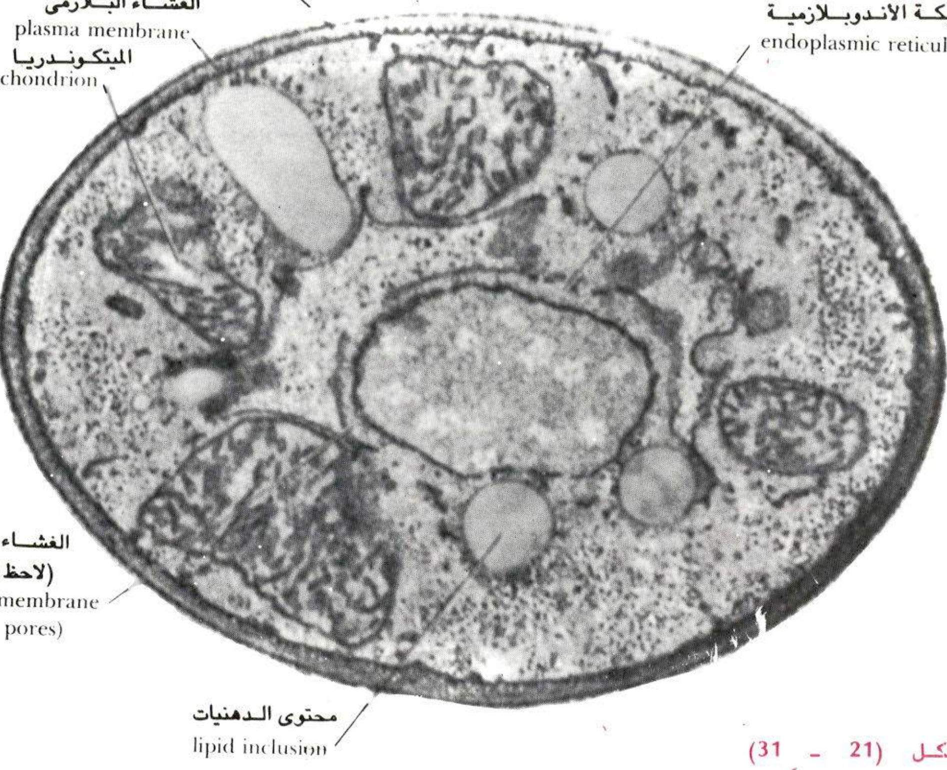
شكل (21 ـ 29) خميرة الجعة (Saccharomyces cereviciae) . (إلى أعلى) التكاثر الخضرى . (إلى الأسفل) كيس يحوى سبورات كيسية .

السبورات الكيسية أقوى الى حد ما من مواجهة البيئة غير الملائمة بالمقارنة بالخلايا الخضرية ، ولذا تتمكن الخمائر من العيش تحت درجات الحرارة عند النهايتين العظمى والدنيا ، أو فى ظروف الجفاف . لتكوين السبورات الكيسية دخل فى النشاط الجنسى مثلها فى ذلك مثل مايجرى فى غيرها من الفطريات الكيسية . تتضمن الخمائر العديد من أنماط دورة الحياة ، ولكننا سنتعرض بالوصف لتلك الأنماط الموجودة فى خميرة الجعة متباينة الثالوس Saccharomyces) (Cerevisae وكذلك سلالاتها العديدة . وهنا نجد جيلين محددين بوضوح ، ونقصد الجيلين الثنائى والاحادى بالنسبة للمجموعة الكروموسومية . Deploid and Haploid (شكل 21 ـ 30) . إن الخلايا الخضرية الكبيرة والبيضوية الشكل



شكل (21 ـ 30)

دورة حياة خميرة الجعة (Saccharomyces cerviciae) . المراحل ثنائية واحادية المجموعة الكروموسومية من دورة الحياة ، أشير بالألوان الى المرحلة احادية المجموعة الكروموسومية .



شكل (21 - 31)

خميرة تورولا Torula Yeast (Candida edulis) لاحظ العضيات المختلفة للخلية (صورة بالمجهر الالكترونى التكبير - 44410 .

التى تشاهد عادة تحت المجهر والمستخدمة فى العمليات الصناعية تعود الى الجيل الثنائى Deploid Generation . وتتكاثر هذه بنشاط بالغ بواسطة التبرعم وينتج عن ذلك أعداد كبيرة من الخلايا الثنائية Diploid Cells أثناء تكون السبورات تتعرض النواة الثنائية Diploid Nucleus للانقسام الاختزالى ، تنقسم النواة ومن ثم تنقسم النواتان البنويتان ، ثم تتكون جدارن الخلايا حول كل نواة ومايتبعها من سيتوبلازم مما يشكل أخيرا أربعة سبورات كيسية أحادية Haploid Ascospores . ومن هنا يظهر أن جدار الخلية العائد للخلية الثنائية الأصلية يقوم بوظيفة الكيس مباشرة .

تكون السبورات الكيسية من نمطين قرنين Two Mating Types ، فاثنان منهما عائدان الى السلالة الموجبة Plus Strain ، بينما يعود الاثنان الآخران الى السلالة السالبة Minus Strain . تنتفخ السبورات الكيسية ضاغطة على الكيس مما يؤدى الى تمزقه فى النهاية محررا بذلك السبورات ، وتبدأ الأخيرة فى التبرعم عندئذ ، ومن ثم تتكاثر خضريا لوقت ما . تكون الخلايا الاحادية المجموعة الكروموسومية مستديرة أو كروية وأصغر حجما من الخلايا ثنائية المجموعة الكروموسومية التى تكون بيضوية ، كما تكون الخلايا احادية المجموعة الكروموسومية بمثابة الأمشاج ، بسبب أن اثنتين منها وهما العائداتان الى نمطين قرينين مختلفين معرضتان للاندماج من أجل تكوين خلية كبيرة واحدة أحادية المجموعة الكروموسومية .

لايترتب على البساطة الظاهرية لخلية الخميرة ودورة حياتها أن نعتقد أن الخمائر هى فطريات بدائية ، بل العكس هو الصحيح ذلك أن الخمائر قد نتجت عن مجموعة ما من الفطريات الكيسية ذات النظام الجسدى Somatic Organization ودورة الحياة الأكثر تعقيدا .

يمكن تهجين الخمائر فى المختبر . ولكى يتم ذلك تزرع

سبـورات منفـردة فى وسط غـذائـى ، حيث تبـدأ فى انتـاج مستعمرات من الخلايا أحادية المجموعة الكروموسومية . بعد اجراء عملية انتقاء بالنسبة لنوعيات مناسبة يجمع بين الخلايا احادية المجموعة الكروموسومية العـائدة لسـلالات مختلفة فى سبيـل انتـاج هجـين مـن الخـلايـا ثنـائيـة المجمـوعـة الكروموسـومية . وربمـا تتباين هـذه الهجائن عن السـلالات الأخرى فى قابلياتها لتخليق الفيتامينات أو لتخمير السكريـات أو لانتاج خمائر أفضل من وجهـة نظر التغـذية أو خصـائص الحفظ .

تتمتع الخمائر بأهمية بارزة فى حيـاة الانسان . اذا ينتفـع بها فى الطب واعداد الخبز وانتاج الجعـة . وبوصفهـا مصدرا لـلانزيمـات الداخلـة فى انتاج الكحـول وفى مجـالات عـديـدة أخرى . تعتبر الخمـائر المستخـدمة فى الخبـز وتخمير الجعـة وإنتاج النبيذ وغيرها من المشروبات الروحية فى العادة أصنـافا أو سـلالات لخميرة الخبـز . يحافظ عـلى الكثير من السـلالات المستنبطة لاغـراض خـاصـة فى مـزارع نقيـة فى المختبـرات الصنـاعية . لقـد أولى اهتمام كبـير لعمليات زراعـة الخمائـر بوصفها مصدرا للبروتـين الذى يفتقـر اليه طعـام الانسان فى الكثير من أرجاء المعمورة . وفى هذا الصدد تبرز أهمية الخمائر المخالفة لنوع Saccharomyces ، وخصوصـا النوع المسمى Torula Yeast (Candida Edulis) . يزرع النبات (شكل : 21 ـ 31) ، فوق خامـات تحتوى عـلى السكر المـدعم بأمـلاح الامونيا . وهـذه الخميرة ضعيفـة التخمر ولكنهـا تنبت بسرعة وتعطى محصولا كبيرا من البـروتينات ، وبعـد نزعهـا من بيئة المزرعة تجفف الخمـيرة وتستخدم مبـاشرة . وفى المعتاد تجـد هـذه الخميرة استخـداما أوسـع لتـدعيم غـذاء الحيـوانـات الزراعية ، وخصوصا الدواجن ، بالمقارنة بغذاء الانسان .

يمكن للخمائر أن تنتج العديد من الانزيمـات التى تستطيع بدورها التأثير فى مختلف المواد العضويـة فالخمـائر ، ومثلهـا مثل بعض الكائنات الحية الاخرى ، تخمر أصنافا عـديدة من السكر . ومن بين أكثر عمليات التخمير شيوعـا تلك التى ينتـج بفعلهـا كل من الكحـول وثانى اوكسيـد الكربـون ، كالمبـين فى المعادلة الاجمالية التالية :

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + energy$$

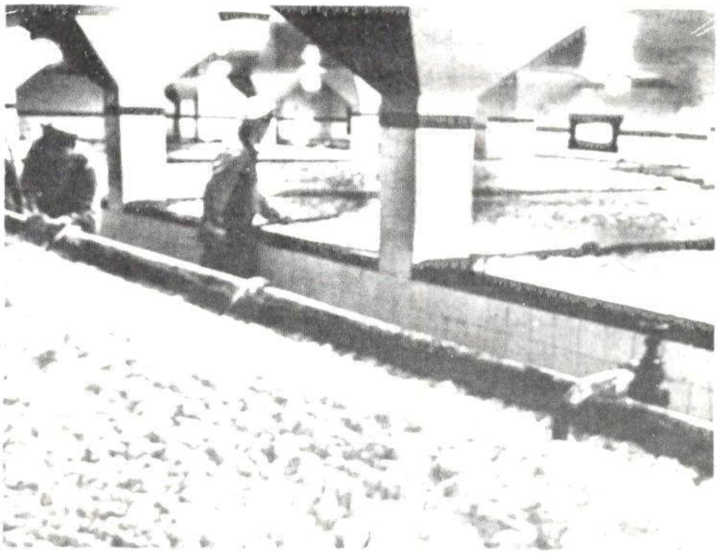
سكر بسيط (كالجلوكوز والفركتوز) — كحول — ثانى اوكسيد الكربون — طاقة

هـذا مع العلم بـأن الانزيمـات الموجـودة فى الخمائـر تقوم بهضم السكـر المركب ، مثـل المالتـوز Maltose أو السكـروز Sucrose وتحـويلـه الى أصنـاف من السكـر البسيط أولا ثم تتوالى العملية كما ذكرنـا . تمتص خلية الخمـيرة السكر حيث تجـرى عليه خطـوات التخمر المبينـة فى الفصـل ـ 6 وفى ظـل التمسك بحرفية الظروف اللاهوائيـة ، تكون الطـاقة النـاتجة كـافية فقط للمحـافظة عـلى الخلايـا . غير أن معظم سـلالات الخمـيرة لاتقوم بـانتـاج خـلايـا جـديـدة مـالم تمـد ببعض الاوكسجين الحر . عنـدما تكـون نسبة تـركيز السكـر عاليـة ويكون الاوكسجين شحيحـا ، ستجرى عمليـة التخمر بسرعـة عالية . ويعتبر الكحول وثانى اوكسيد الكـربون النـاتجان من نفـايات العمليـة من زاوية نبـات الخميرة . سـوف يثبط تراكم الكحول من نشاط الخمـيرة ، ولكن حد احتمـال tolerance ، الخميرة لتركيز الكحول يتفـاوت باختـلاف سلالتهـا من درجة منخفضـة فى التركيـز (3 ـ 5٪) فى خمائـر الجعة ، الى حـوالى 14٪ فى خمائر النبيذ . يصنع النبيـذ العالى التـركيز بـواسطة إضافة الكحول . أما المشروبات الكحولية ذات التركيز الكحولى الأعـلى من ذلك البـراندى والـويسكى فتنتج بـالتخمير اولا ثم التقطير .

عند انتاج الخبز يكون ثانى اوكسيد الكربون المتكـون أثناء تخمـر السكر المـوجود فى العجينـة هـو المسئـول عن ارتفـاع العجينة وعن التركيب المسامى لرغيف الخبز النـاتـج . كما أن غالبية القدر الضئيل من الكحـول الناتـج عن تخمير الخبـز تم التخلص منها اثناء عملية الخبز .

على الرغم من أن الخمائر تنتج العديـد من الانزيمـات مثل أنـزيمات البـروتيز Protease والمـالتيز Maltase والسكـريز Sucrase ، إلا أنهـا لاتنتج انـزيم الاميليز Amylase المؤثـر خـارج الخلايـا والمسئول عن هضم النشـاء . لايكتسب نقص هـذا الانزيم أهميـة فى انتاج الخمـائر المضغـوطـة ، والنبيـذ وبعض أنـواع الكحول الصنـاعى ، حيث ان المواد التى تنمـو عليها الخمائر تتألف من المولاس (المولاسـات) Moilasses أو عصير الفواكه أو غيرها من المواد الغنيـة بالسكـريات . ومـع ذلـك ففى صنـاعـة الجعـة وانتـاج بعض انـواع المشروبـات الكحولية مثل الويسكى تستخـدم مواد نشـوية مثـل الذرة أو الارز أو الشيلم أو الشعـير . وفى هذه العمليـة يتحول النشـاء عادة الى سكر بـاستعمال المـالت Malt ، وهو عبـارة عن بذور الشعير المستنبتة جزئيا (فصل ـ 6) . وتنتج نسبـة عاليـة من الأميليز أثناء الانبات .

عنـد انتاج الجعـة يعلق المالت فى المـاء وذلـك فى خـزانـات كبيرة . تضـاف بجانب المالت كميات مقننة من النشـاء المطبوخ أو غيره من المواد الكـربوهيـدراتية ، ويتـرك الخليط مدة تحت درجة حرارة دافئة لمتابعـة تحويـل النشاء الى سكـريات ، من خلال نشاط انزيمات المـالت . فصل القسم السـائل عن بقـايا الطحـين ومن ثم يغلى مـع حشيشة الـدينار Hops . ووظيفـة النبات الأخير لاتنحصر فقط فى اضافة الطعم المميز ولكنه يعتبر مثبطـا لنمو بكتـريا الافسـاد أثناء فتـرة النمو الحـر لخلايـا



شكل (21 ـ 32) أحواض نقيع المالت المكشوفة لتخميره بواسطة الخميرة . لاحظ الرغوة الكثيفة الناتجة عن خروج ثانى اوكسيد الكربون ، ولها دخل فى عزل النقيع عن الهواء .

الخميرة . تفصل حشيشة الدينار بالترشيح ويترك السائل الذى يحتوى على المالتوز وغيره من السكريات والبروتينات والأملاح المعدنية ليتخمر باضافة سلالات معينة من الخميرة (شكل 12 ـ 32) . ويلزم مضى أسبوع أو أسبوعين لكى تتم عملية التخمر .

عند انتاج الخمائر المضغوطة والمجففة ، تضاف السلالات المختارة فى خزانات مملؤة بمولاس قصب السكر Sugar Cane أو البنجر السكرى Sugar Beet . حيث يهتم المنتج بمنتوج الخميرة وليس الكحول . يقوم بتهوية السائل الحاوى للخميرة بسرعة عن طريق ضخ هواء بالقرب من قاع الخزان ، وبذا يكون تنفس الخميرة هوائيا فى الاساس ، ومن ثم تحفز عملية النمو الخضرى فيها . كما تستخدم التهوية هذه فى انتاج خميرة الجعة (البيرة) وتكون فى العادة فى المراحل المبكرة للتخمر .

الاشنات : The Lichens

تعتبر الاشنات مجموعة كبيرة للغاية من النباتات (حوالى 17,000 نوع)، وتنتشر فى كل قارة من القارات وفى مختلف المواطن . توجد الاشنات نامية على قلف bark الاشجار وعلى الخشب المتفسخ والصخور وفوق سطح التربة ، وتتكيف الاشنات للعيش فى ظل النهايات القصوى للحرارة والبرودة والرياح . تتشابه بعض الاشنات مظهريا مع الحزازيات mosses ، الا انها لا يربطها رابط معها . انطلاقا من شكل جسم النبات تصنف الاشنات فى ثلاث مجموعات :

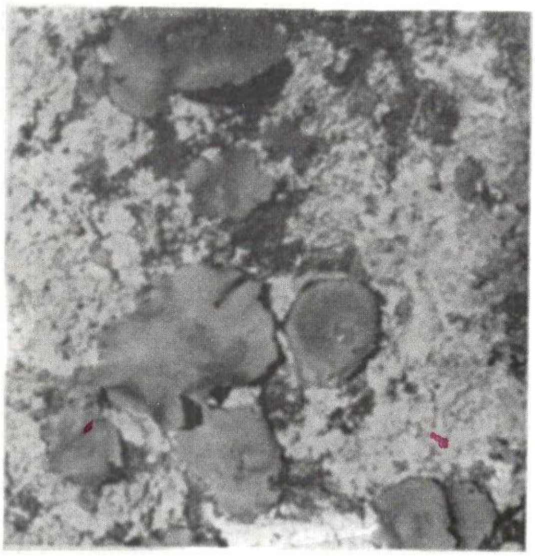
(1) الاشنات شبه القشرية crustlike Lichens (Crustose)

(2) الاشنات شبه الورقية Leaflike Lichens (Foliose)

(3) الاشنات شبه الشجيرية Shrublike Lichens (Fruticose)

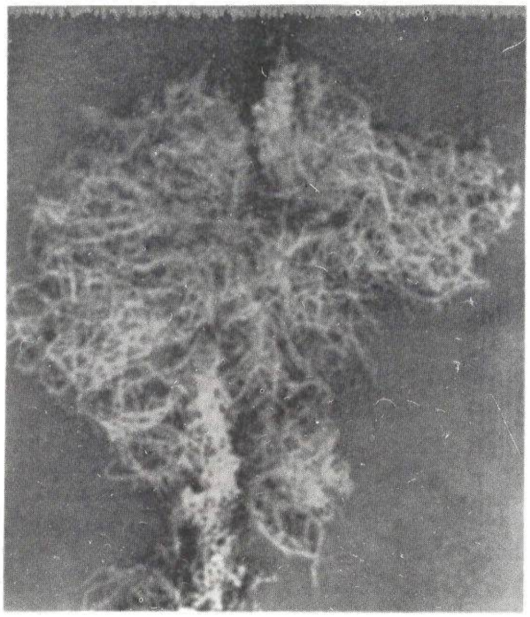
تختلف الانواع العديدة من الاشنات حجما بدءا بانماطها دقيقة الحجم ، وحتى اشكالها الكبيرة والبارزة ومثالها اشنات كروش الصخر rock tripes Lichens (شكل 21ـ33)، وكذلك الاشنات الشعرية hair or beard Lichens (شكل 21ـ34). علما بأن الاخيرة يصل طولها

شكل (21 ـ 33) اشنة كرش الصخر ـ الامبيليكاريا Rock Tripe (Umbilicaria) وهى من الاشنات شبه الورقية ، وتتكون من رقائق جلدية مستديرة وقد تكون مقطعة الحواف ، وتتصل بالصخرة فى نقطة قرب مركزها ، ويكون الثالوس كبير الحجم من 25 ملليمتر قطراً الى مايصل الى 30 سم .



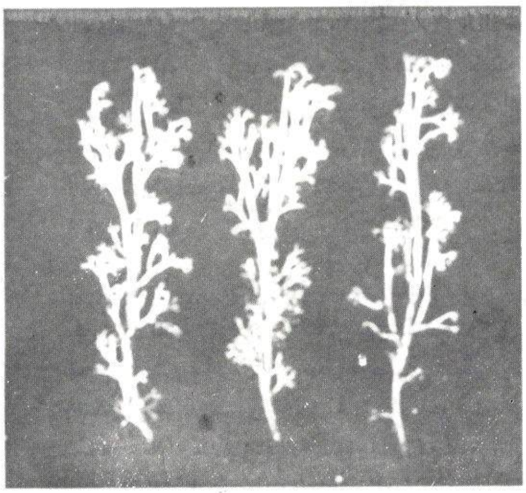
قرابة المتر او اكثر . تكون الاشنات او اعضاؤها التكاثرية زاهية الالوان (لوحة : 11). تغطى كتل الاشنات ، وخصوصا جنس الكلادونيا (Cladonia Lichens)، الذى يتضمن اشنات الرنة reindeer Lichens (وتسمى خطأ حزاز الرنة reindeer moss) (شكل 21ـ35)، مساحات كبيرة من القطب الشمالى ومناطق الدائرة القطبية . ويتغذى على اشنات الرنة ثور المسك musk ox وحيوانات الرنة فى شمال امريكا وغيرها من حيوانات الرعى البرية ، وكذلك الرنة الاليفة وهكذا نجد ان الاشنات ، مثلها مثل غيرها من الكائنات الحية ضوئية التغذية phototrophic ، تستغل كاساس للدورات الغذائية food chains .

علينا ان نوضح ان الاشنة هى نبات مركب ، ونقصد بهذا انها تتكون من كائنين ، طحلب alga وفطر Fungus . ويكون الفطر عادة من الكيسيات ascomycete ، بينما يكون الطحلب اخضر او اخضر مزرقا سواء أكان وحيد الخلية او شريطيا . وعلى الرغم من ثنائيتها تسلك الاشنة مسلك الوحدة الوظيفية الواحدة . فنجد ان تراكيبها الخارجية

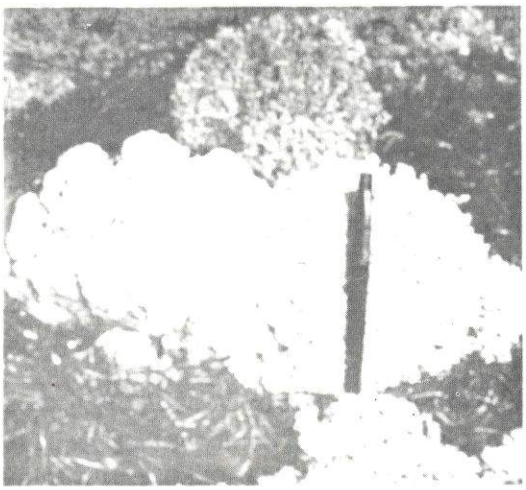


شكل (21 ـ 34)
اشنة شعرية (اوسنيا Usnea) وهى اشنات شبه شجيرية (Fruticose) وثالوسها يشبه الخيوط .

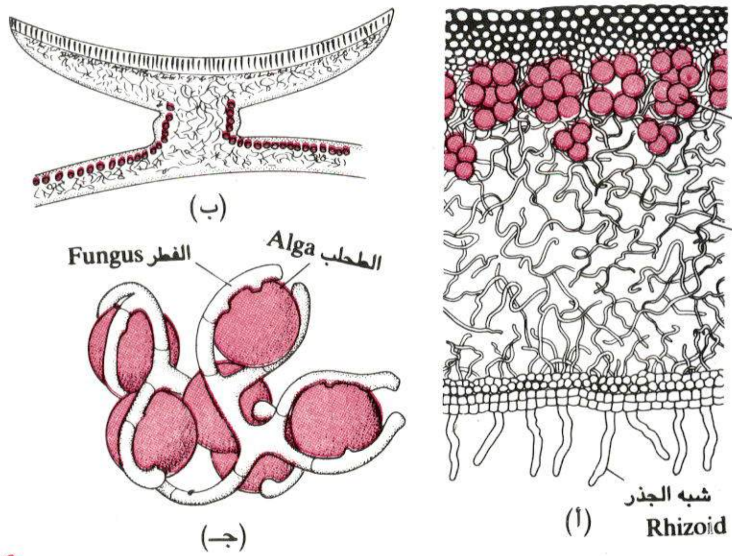
شكل (21 ـ 35) اشنات الرنّة (ا) تنمو على ارضية الغابة بصورة كتل (إلى اليسار) اشنة (Cladonia alpestris) ، غرس قلم رصاص بجوار الاشنات لمقارنة الحجم . (ب) فروع منفردة من الأشنة الثانية أخذت من الكتلة الموضحة فى الرسم . (ا) تبرز الصورة المظهر المنتصب للأشنات شبه الشجيرية .



(ب)



(ا)

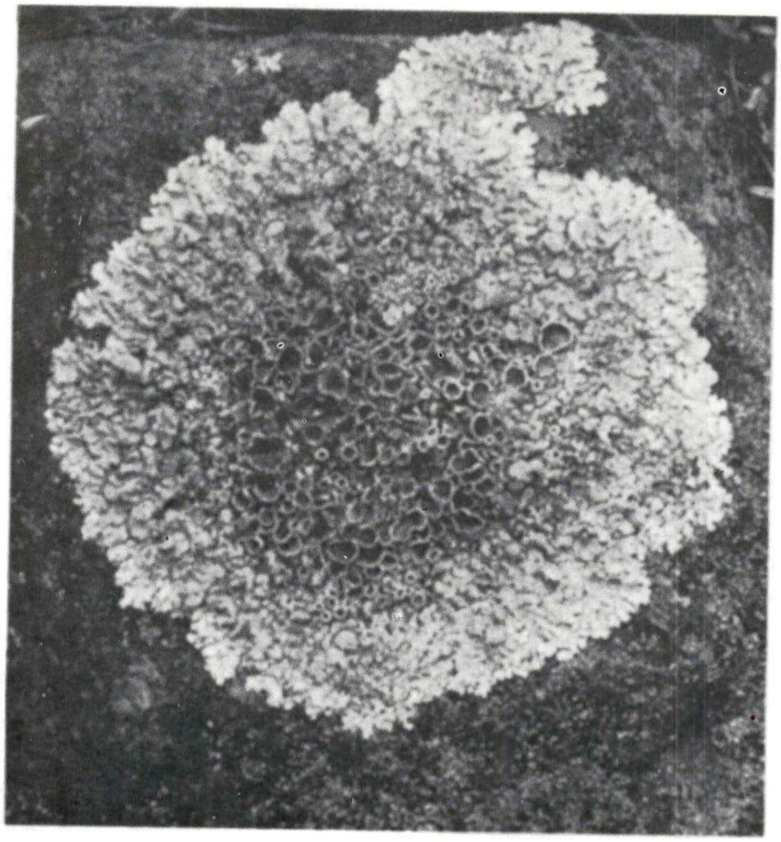


شكل (21 ـ 36) ثالوس الاشنة وتكاثرها .
(أ) قطاع طولى فى ثالوس الاشنة . اختلطت الخلايا الطحلبية بخيوط الفطر فى القسم العلوى من الثالوس .
(ب) قطاع طولى فى كأس يحوى أكياس .
(جـ) السوريديوم (Soredium)

والداخلية ، وكذلك انواع المركبات العضوية التى تنتجها ثابتة نسبيا مع تعاقب الاجيال ، وبذلك يمكن تصنيف الاشنات الى انواع species واجناس genera وعائلات families كغيرها من الكائنات الحية . يتكون الجزء الاكبر من جسم النبات من خيوط فطرية متشابكة بهذا القدر او ذاك (شكل : 21ـ36). وتكون هذه الخيوط ناشئة عن الفطر . اما الخلايا الطحلبية التى توجد فى الانواع شبه الورقية عادة فى الجزء الاعلى من الثالوس وتكون متلامسة تماما مع الخيوط الفطرية التى تبعث بدورها ممصات haustoria تخترق خلايا البناء الضوئى . وفى الكثير من الانواع تتجمع خيوط طرية متخصصة هى اشباه الجذور rhizoids فى شرائط تمتد الى اسفل ، رابطة النبات فى مادة الاساس substratum . ويكون الثالوس شبيها بالاسفنج بتشرب ماءه بسرعة فائقة من المطر والضباب او الندى . يكون نمو ثالوس الاشنة بطيئا ، لا يتعدى عموما بضعة ملليمترات فى القطر فى السنة .

تعتبر العلاقات الغذائية nutritional relation ships وغيرها من العلاقات القائمة بين الكائنات الحية المكونة للاشنة مثالا تقليديا واضحا على التكافلية mutualism فنجد ان الطحلب يزود الفطر بمركبات عضوية تنتج الطاقة ويحتمل ان يزوده ايضا بما يحتاجه من فيتامينات مثل البيوتين biotin والثيامين thiamine ، كما يمد الفطر الطحلب بالماء والعناصر الضرورية essential elements وكذلك يمده بالوقاية من شدة الضوء العالية . يتم الحصول على العناصر الضرورية اساسا مما يحتويه الماء كمذيب عندما يلامسه الثالوس ، علما بان الامتصاص يحدث من كل سطح الثالوس المعرض للماء . تم العثور على العديد من انواع الطحالب الاشنية lichen algae حرة فى الطبيعة ، ولكن مع بعض الشواذ توجد فطريات الاشنات كمكونات للثالوس الاشنى فقط . يوجد توازن دقيق فى العلاقة التى تربط بين الفطر والطحلب فنجد فى بعض الاحيان ان الفطر يتطفل على الخلايا الطحلبية ، وبذا لاتكون العلاقة التكافلية فى صالح المكونين بنفس القدر .

تنتج السبورات الكيسية للفطر فى ثمرات كيسية مفتوحة perithecia والاكثر ان تنتج فى اجسام ثمرية صغيرة شبه كاسية او شبه قرصية ، تعلو جسم الثالوس (شكل 21ـ36ب و 21ـ37)، او على اعناق او شعب تخصصية . عندما تلفظ السبورات تقع فوق مادة اساس ما ومن ثم تنشىء خيوطا فطرية اثناء انباتها . واذا ما اتيحت الفرصة لهذه الخيوط ان تحيط بنوع مناسب من الطحالب



شكل (21 ـ 37)

اشنة ورقية (البارميليا Parmelia) ، وتنمو على الصخور . لاحظ الكؤوس تعلو سطح الثالوس .

ظهر الى الوجود ثالوس جديد . ويبدو ان هذه الفرص تعتبر شحيحة وبذا يكون تكاثر الاشنات خضريا فى الاساس ، اما بالتجزء (بالتشظى) fragmentation او بوحدات انتثار تخصصية dispersal units . وفى حالة التجزء تتكسر اجزاء من الثالوس وسرعان ما تحملها الرياح او المياه . ويحتمل ان تكون السوريديا soredia (مجموعة من خلايا الطحلب وخيوط الفطر تكون ثالوس اشنيا جديدا عند انفصالها عن الثالوس الاصلى (شكل 21ـ36حـ)، هى اشيع وحدات الانتثار التخصصية وتتكون السوريديا من خلية طحلبية او اكثر ، تغلفها خيوط الفطر . وتنشأ هذه فى الطبقة الطحلبية من الثالوس وتبرز الى اعلى من الشقوق متخذة مظهر الكتل المسحوقية powdery clumps على السطح . تنتشر السوريديا بفعل الرياح او المطر ، وربما ينتج كل سوريديوم منها نباتا جديدا .

وكما سبق ان اشرنا فى الفصل 15 يمكن للاشنات ان تتبوأ مكان الريادة على سطوح الصخور العارية (شكل : 21ـ37)، حيث تفتت سطوحها تدريجيا مما يسبب نشؤ التربة . وتعتبر هذه العملية ميكانيكية فى مجملها حيث ان الثالوس يكون هلاميا فى رطوبته ، ولذا يلتصق بقوة فوق سطح الصخرة . وعندها يجف الثالوس يأخذ فى الانكماش بما ينتزع من شظايا دقيقة من سطح الصخرة ، اسفله وربما هذه الشظايا ممتزجة بالثالوس حيث تذوب تدريجيا بفعل احماض الاشنة .

للاشنات عدة فوائد اقتصادية فعلاوة على كونها من اغذية الحيوانات تستخدم ايضا فى عمليات الصباغة وصناعة العطور وكمصدر لصبغة عباد الشمس litmus ، المستخدمة فى المختبرات الكيميائية .

Summary : الخلاصة

1ـ تكون الفطريات اما طفيلية او رمية ، وكلها من الثالوسيات . تنحصر اهميتها للانسان فى

أ ـ فى كونها عوامل مساعدة على التفسخ .

ب ـ فى كونها اسبابا رئيسية لامراض نباتية فتاكة .

2ـ يعتبر الفطر نباتا غير إخضر ، يتكون جسمه فى العادة من تراكيب تشبه الخيوط وتسمى بالخيوط الفطرية . تنشأ سبورات التكاثر من خيوط فطرية تخصصية ، تتجمع الخيوط الفطرية فى الكثير من الفطريات مكونة اجساما ثمرية كبيرة الى حد ما .

3ـ لا تعتبر الاعفان اللزجة (المخاطبة) والتى تسمى احيانا بالفطريات اللزجة ، من الفطريات الحقيقة . اذ لاتكون خيوطا فطرية ، كما تجمع بين سمات النبات والحيوان معا .

4ـ تجمع الفطريات الحقيقة فى اربع طوائف فى العادة : الفطريات الطحلبية phycomycetes ، الفطريات الكيسية ascomycetes ، الفطريات البازيدية basidiomycetes واخيرا الفطريات الناقصة fungi imperfecti . تتكاثر الطوائف الثلاث ، الاولى بالطرق الجنسية (اى تملك مرحلة تامة perfect stage ، بينما تكون الفطريات الناقصة هى تلك التى تخلو من المرحلة التامة).

5ـ تتميز الفطريات الطحلبية بخيوط فطرية غير محجزة nonsepate hyphae ، لا تتجمع فى اجسام ثمرية محددة ويكون تكاثرها جنسيا ولا جنسيا ، يمكن لسبوراتها اللاجنسية ان تكون متحركة او ثابتة ، وتنشأ فى العادة داخل حافظة سبورية sporangium . تكون الفطريات الطحلبية الفطريات الحقيقية الوحيدة ، التى تنتج سبورات متحركة (سبورات لا جنسية) ، ويكون سبور المرحلة التامة اما زيجوسبورا zygospore أو بيضة مخصبة oospore . ومن أمثلة الفطريات الطحلبية نجد فطر عفن الخبز ، وأعفان الماء وفطر اللفحة المتأخر fungus late blight والبياض الزغبى downy mildews .

6 ـ يتكاثر فطر عفن الخبز أساسا بالسبورات اللا جنسية الناشئة فى حوافظ السبورات علما بأن التكاثر الجنسى يحدث أحيانا ، وهذا التكاثر يعتبر من النوع متماثل الامشاج isogamous ومتباين الثالوس heterothallic . يعتبر تباين الثالوس heterothallism موجودا فى العديد من مجاميع الفطريات ، ويدخل فيه نمطان قريبان أى سلالتان موجبة وسالبة .

ـ ينتج فطر النخر المتأخر حوافظ سبورية صغيرة تحملها حوامل سبورية متشعبة sporangiophores branched . وتنبت الحوافظ السبورية مباشرة أو بصورة غير مباشرة اعتمادا على درجة الحرارة . يمكن للسبورات المتحركة الناشئة عن الانبات غير المباشر أن تعتبر مثالا على استرداد صفة من صفات الأسلاف .

8 ـ تتسم الفطريات الكيسية بوجود أجسام ثمرية محددة وبامتلاك خيوط فطرية محجزة وكذلك بتكون السبورات الكيسية فى أكياسها . أما الاجسام الثمرية التى تحوى أكياسا فتتخذ عادة شكل الكؤوس أو الثمرات الكيسية المفتوحة والمغلقة على حد سواء . تكون السبورات الكيسية هى سبورات المرحلة التامة ، بينما تكون الكونيديومات فى العادة هى سبورات المرحلة الناقصة .

9 ـ تنشأ أعضاء الجنس عند قاعدة الجسم الثمرى . يتوسط طور ثنائى الأنوية dikaryotic phase بين اندماج الحوافظ المشيجية gametangial fusion وبين تكوين النواة ثنائية المجموعة الكروموسومية diploid nucleus .

10 ـ تعتبر الغوشنات morels من الفطريات الكيسية الشائعة والتى تؤكل . تنشأ الأكياس فى تجاعيد تغطى سطح قبعتها المعنقة .

11 ـ تنمو أعفان البياض الدقيقى ظاهرة على سطح المضيف وتتكاثر بالكونيديا والسبورات الكيسية .

12 ـ يعتبر البنسيليوم والأسبرجيلس الجنسين الرئيسين للأعفان السوداء والخضراء المزرقة ويمكن التعرف عليهما من طبيعة حوامل الكونيديومات فهى متشعبة فى البنيسيليوم ، وغير متشعبة فى الأسبرجيلس .

13 ـ يعتبر جرب التفاح مثالا ساطعا على مرض النبات ، حيث يلزم قدر من معرفة دورة الحياة للكائن الحى المسبب للمرض من أجل التحكم فى المرض وايقافه .

14 ـ يعتبر الأرغوت مرضا يصيب النجيليات حيث تحل محل الحبوب النامية كتلة من خيوط فطرية تكون الأرغوت فيما بعد . ويكون التكاثر بكل من الكونيديومات والسبورات الكيسية .

15 ـ جسم النبات فى الخمائر يكون خلية واحدة . يكون التكاثر اما بالانشطار fission أو التبرعم ، ومن ثم تكوين السبورات الكيسية . تتضمن دورة حياة بعض الخمائر جيلين محددين بوضوح هما الجيل ثنائى المجموعة الكروموسومية واحاديها .

16 ـ تحول انزيمات التخمر الكحولى السكر البسيط إلى كحول وثانى اوكسيد الكربون مع تحرير كمية محدودة من الطاقة . لا تكون الخمائر انزيم الاميليز .

17 ـ تتكون الأشنة من فطر وطحلب تربطهما علاقة تكافيلية تتكون السبورات الكيسية ، غير أن التكاثر يكون خضريا فى أساسه ، إما بالتجزؤ fragmentation أو بوحدات انتثار تخصصية مثل السوريديا .

الفطريات البازيدية والفطريات الناقصة

The Fungi : Basidiomycetes
The Fungi : Imperfecti


22

الفطريات البازيدية والفطريات الناقصة
The Fungi : Basidiomycetes
The Fungi : Imperfecti

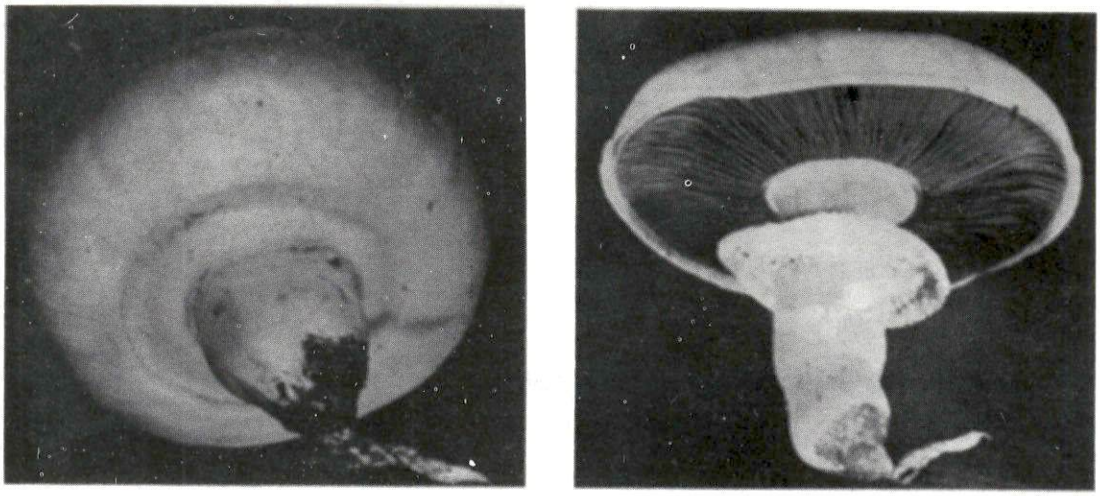
تتضمن الفطريات البازيدية غالبية انواع الفطريات الاكبر والاكثر وضوحا ، والتى كثيرا ماتظهر فى الحقول والغابات . وما الفطريات التى يسميها العوام بأسماء مثل عيش الغراب mushrooms والغاريقون السام toadstools والفطر النفاث puffball والفطر القوسى bracket ، الا فطريات بازيدية ، ويدخل فيها ايضا فطر الصدأ rusts ، وفطر التفحم smuts وهما من الفطريات المسئولة عن اصابة بعض المحاصيل الاقتصادية الهامة بالامراض . ولم يكن ماذكرنا حصرا ، اذ تتضمن الفطريات البازيدية مجاميع عديدة اخرى .

وكما هى الحال فى الفطريات الكيسية نجد الخيوط الفطرية للفطريات البازيدية محجرة (مقسمة) septate ، وتحوى جدرانها العرضية مسامات pores تسمح بانتقال النواة بين الخلايا . تدعى السبورات الساكنة non motile spores فى المرحلة التامة perfect stage السبورات البازيدية basidiospores . والاخيرة مثلها مثل السبورات الكيسية تنشأ فى اعقاب الاندماج الجنسى sexual fusion والانقسام الاختزالى meiosis . تولد السبورات البازيدية خارجيا على خيط فطرى صولجانى متخصص يدعى بالبازيديوم basidium ، بينما تتولد السبورات الكيسية فى كيس مغلق ، لاتنشأ فى الفطريات البازيدية أية اعضاء جنسية وعلاوة على السبورات البازيدية (وهى سبورات اختزالية meiospores) ربما تنشأ انواع اخرى من السبورات ، سوف نناقشها اثناء دراستنا للفطريات التى تنتجها . وسوف نبدأ باعطاء فكرة عامة عن الفطريات البازيدية ذات « الاجسام الثمرية » الظاهرة والمنتظمة ، ونخص هنا بالذكر الهلامية منها (الجيلاتينية) gelatinous والجلدية leathery واللحمية fleshy والاسفنجية spongy والفلينية corky والخشبية woody وكلها تراكيب تحمل البازيديومات .

الفطريات البازيدية ذات الاجسام الثمرية
Basidiomycetes, With Fruiting Bodies

الفطريات الخيشومية The Gill Fungi (Agaricaceae)

اغلب الفطريات الخيشومية من الفطريات اللحمية الرمية . تنتشر خيوطها الفطرية خلال التربة او الخشب الميت ، وتنشىء جسما ثمريا ظاهرا ، يتكون من عنق يحمل

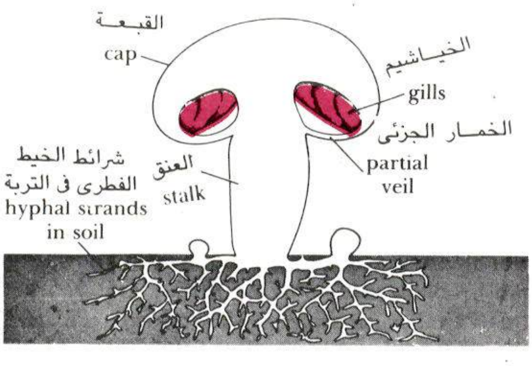


شكل (22 ـ 1) عيش الغراب الحقلى (Agaricus campestris) (إلى اليسار) منظر القبعة من أسفل ، الخمار الجزئى . (إلى اليمين) منظر جسم ثمرى ناضج وتظهر الخياشيم والحلقة المهترئة .

قبعة cup . يكون العنق متمركزا فى معظم الفطريات الخيشومية ومتصلا بالقلنسوة ، كما ان كل الجسم الثمرى يتخذ هيئة المظلة او مايشبه فطر عيش الغراب (شكل 22ـ1). ولكن هذا العنق يكون متصلا فى بعض الانواع بالقبعة من احد جوانبها ، وربما يقصر كثيرا او ينعدم تماما كما يكون كل من حجم العنق والقبعة وشكليهما وملمسهما ولونيهما من الصفات المميزة للانواع فى هذه الفطريات البازيدية . تنتج السبورات البازيدية على سطح تركيب شبه صفيحية ورقيقة تسمى الخياشيم gills ، وتتولد على السطح الاسفل من القبعة حيث تتوزع قطريا حول اتصال العنق بالقبعة ، كى تصله بحافة الاخيرة .

عيش غراب المروج او عيش الغراب الحقلى The Meadow, or Field, Mushroom

ينمو عيش غراب المروج او عيش الغراب الحقلى (Agaricus campestris) ، بريا فى المروج والمراعى والحدائق ، ومن اصنافه تلك التى تشكل المحصول الرئيسى لعيش الغراب المزروع تجاريا . يمكن اتخاذه مثالا توضيحيا بارزا على سمات الفطريات الخيشومية . كثيرا ما يترابط القسم الخضرى من النبات ونقصد به الخيوط الفطرية مكونا شرائط ضاربة فى البياض تنتج فروعا تتخلل التربة قرب



شكل (22 ـ 2) قطاع طولى فى مرحلة الزر لعيش الغراب .

سطحها (شكل : 22ـ2). وعلى الرغم من دوام وجود الخيوط الفطرية الا أنها تكون غير ملحوظة فى الكثير من الاحيان .

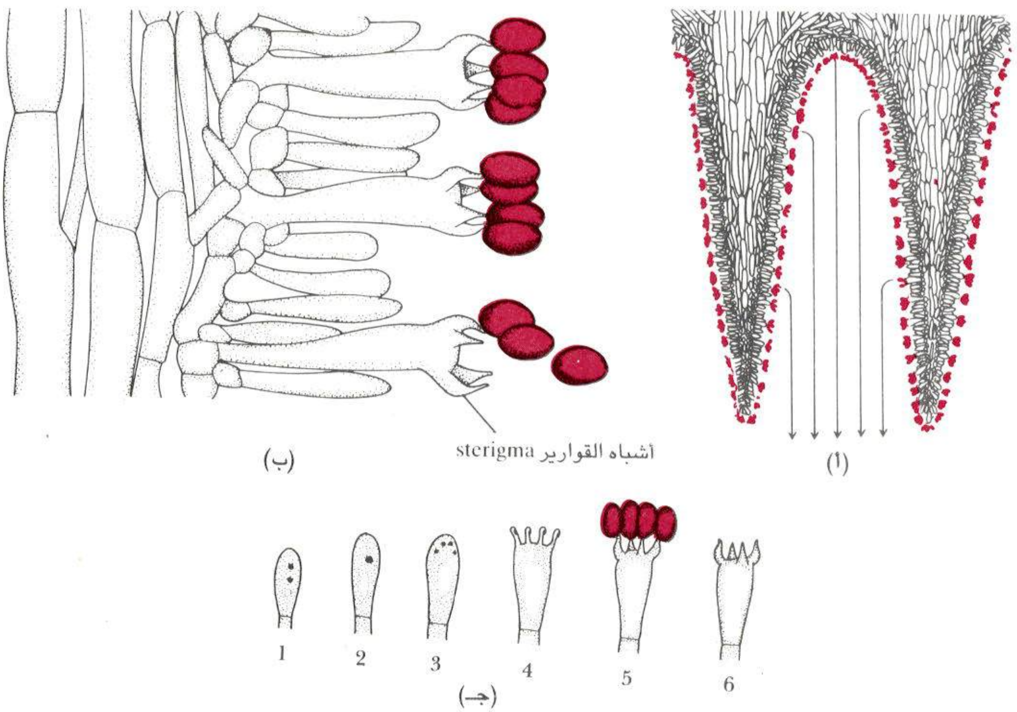
يبدأ الطور التكاثرى بتكوين انتفاخات صغيرة تظهر فى الشرائط المذكورة وسرعان مايزيد حجم هذه الانتفاخات وتشق طريقها الى سطح التربة ككريات صغيرة ، وهذه هى مرحلة الزر buttom stage . يوضح الشكل (22ـ2) قطاعا طوليا فى أحد الازرار ، الذى يبرز بدوره المرحلة غير الناضجة لكل من العنق والقبعة والخياشيم ، جنبا الى جنب مع نسيج رقيق يسمى بالخمار الجزئى او الداخلى partial

or inner veil ، يربط حواف القبعة بالقسم العلوى من العنق . وبتتابع النمو وتمدد القبعة ، يتهتك الخمار الجزئى كاشفا النقاب عن الخياشيم ، تكون الخياشيم فى هذا النوع وردية فى البداية ، وتتحول الى اللون البنى او القرمزى مع نضوج السبورات ، وتتبقى مخلفات الخمار عادة على السطح الاعلى من العنق كحلقة مهترئة (بالية) – ragged ring annulus (انظر شكل 22ـ1). ووجود هذه الحلقة المهترئة او عدمه هو سمة اخرى من السمات العديدة للتعرف على مختلف انواع الفطريات الخيشومية .

يوضح القطاع العرضى فى خيشوم (شكل 22ـ3 أ) انه اسفينى الشكل ـ wedge shaped ، وان الحجم الاكبر من انسجته كباقى نسيج عيش الغراب يتألف من خيوط فطرية كثيفة . يوجد على جانبى الخيشوم طبقات شبه عمادية palisadelike layers من خيوط فطرية تخصصية منتفخة بعض الشىء عند اطرافها . وتكون البازيديومات الناضجة هى العناصر الاكثر وضوحا . ويحمل كل واحد من هذه البازيديومات اربعة سبورات بازيدية مثبتة على اعناق قصيرة (من اشباه القوارير sterigmata (شكل 22ـ3 ب). يمكن العثور ايضا على البازيديومات غير الناضجة تتخللها خيوط فطرية تمثل بازيديومات فتية ، غير انها تكون عقيمة ولا تنتج سبورات ابدا . هناك صنف من عيش الغراب الحقلى لايحمل الا سبورين بازيديين فقط ، وهذا الشكل ثنائى السبورات هو بذاته الذى يزرع تجاريا لاستخدامه فى الاطعمة .

يعتبر تكوين السبورات البازيدية فى عيش الغراب الحقلى (شكل 22ـ3 جـ) نمطيا من بين الفطريات الخيشومية . كما ان البازيديوم الفتى هو والخيوط الفطرية التى تنشأ

شكل (22 ـ 3) التكاثر فى فطر عيش الغراب الحقلى Agaricus campestris
أ ـ خياشيم عيش الغراب فى قطاع طولى . توضح الأسهم مسار السبورات الساقطة .
ب ـ قسم من خيشوم يحمل البزيديومات ، عظيم التكبير .
جـ ـ (من 1 ـ 5) مراحل تطور البزيديوم والسبورات البزيدية 6 ـ البزيديوم بعد لفظه للسبورات .



عنها ثنائى الانوية binucleate نمطيا تندمج الانوية فى البازيديوم ويعتبر هذا الاندماج بمثابة اتحاد جنسى حقيقى . حدث الآن الانقسام الاختزالى وينشأ عنه اربع انوية بنوية . يعقب هذه الخطوة ان تهاجر واحدة من الانوية البنوية من خلال واحدة من اشباه القوارير الى كل واحد من السبورات البازيدية . (فى الشكل ثنائى السبورات المستزرع ، تهاجر نواتان الى كل سبور بازيدى واحد). وعندما تنضج السبورات تلفظ تباعا على فترات قصيرة متتابعة ، وذلك فى الحيز بين خيشومين ، كما ان قوة القذف هذه تكاد تكون كافية لحمل السبور عبر مسافة افقية تساوى 0.1 من المليمتر خلال هذا الحيز الضيق ، ومن ثم يسقط السبور الى اسفل . لاتولد على البازيديوم الواحد الا مجموعة واحدة من السبورات البازيدية ، ولكن تتابع نضج محاصيل البازيديومات وسبوراتها يزيد من فترة لفظ السبورات حتى تصل الى عدة ايام . ولقد قدر عدد السبورات المحتمل انتاجها بواسطة نبات واحد كبير لعيش الغراب الحقلى بما يقارب العشرة مليارات سبور . وتظهر الآن بوضوح تام قيمة واهمية العنق ، اذ يحمل القبعة وخياشيمها فوق سطح التربة ويسمح الحيز الناتج تحته لتيارات الهواء ان تحمل السبورات المتساقطة بعيدا .

وفى ظل الظروف البيئية المناسبة تنبت السبورات البازيدية وتنشىء خيوطا فطرية . وعلى خلاف غالبية الفطريات البازيدية يعتبر فطر عيش الغراب الحقلى متجانس الثالوس homothallic ، وان باستطاعة هذا الفطر ان ينشأ عن خيوط فطرية انتجها سبور واحد ومن اعتبار تجانس هذا الفطر ثالوسيا تكون النواتان المندمجتان فى البازيديومات الفتية متماثلة جنسيا sexually. فى الفطريات الخيشومية متباينة الثالوس heterothallic ، تكون السبورات على العكس من نمطين قرينين مختلفين ، ولا يمكن للجسم الثمرى ان ينشأ عن سبور وحيد . تكون سبورات الفطريات البازيدية ، متباينة الثالوس ، عند انباتها خيوطا فطرية محجزة تحوى انوية احادية المجموعة الخيطية الكروموسومية ومن نمط قرين واحد فقط . واذا ما تلامست الخيوط الفطرية من نمطين قرينين متضادين ، وذلك فى التربة فانهما يندمجان وتهاجر انوية كلا النمطين القرينين الى المجموعة الخيطية كل الى ضده . تتحرك الأنوية الغازية invading nuclei من خلال ثغرات الحواجز الى الاطراف النامية للخيوط الفطرية ، وهناك تتجاوز فى ازواج مع الانوية الاصلية ويكون كل زوج منها واحدة من ثنائيات الانوية dikaryons ، كما لاحظنا من قبل عند وصفنا للنشاط الجنسى فى الفطريات الكيسية . ومع استطالة الخيوط الفطرية تنقسم الانوية المتزاوجة انقساما تزامنيا synchronously ومن ثم تنشأ جدران خلوية جديدة تفصل بين ازواج الانوية البنوية . وعلى الرغم من ان النواتين المختلفتين وراثيا تحتفظان بهويتيهما فان الكثير من صفات الكائن الحى تبقى تحت سيطرتهما المشتركة ، ومن هنا يمكن اعتبار الواحدة من ثنائيات الانوية ، ومن وجوه عدة مكافئة وظيفيا functionally equivalent للحالة ثنائية المجموعة الكروموسومية . ينتشر الغزل الفطرى ثنائى الانوية dikaryotic mycelium انتشارا كثيفا فى التربة وبعد مضى فترة من النمو يصاحبها تراكم احتياطيات الغذاء ، تبدأ الأجسام الثمرية فى الظهور ، يستمر طور ثنائية الأنوية هذا كى يعم تكوين الجسم الثمرى ولاينتهى إلا بعد اندماج الأنوية المتزاوجة فى البازيديوم الفتى . هذا وبينما يتكون طور ثنائية الأنوية فى الفطريات الكيسية أساسا من خيوط فطرية مولدة للأكياس Ascogenous Hyphae ، وبذا يكون محدود الطول نجده فى معظم الفطريات البازيدية مؤلفا للقسم الأكبر من دورة حياتها . وليس هذا فحسب فربما يستمر الغزل الفطرى ثنائى الأنوية من سنة الى أخرى ومن ثم تنبت محاصيل متعاقبة من الاجسام الثمرية .

تكون أحيانا الأجسام الثمرية للفطريات الخيشومية وغيرها من اللحميات التى تنمو فى المروج أو المراعى ، نامية بصورة فريدة وأحيانا أخرى فى مستعمرات دائرية (تسمى حلقة الجنيات ـ أو الحلقة المسحورة "Fairy Ring") (شكل : 22 ـ 4) . يبدأ الغزل الفطرى المعمر Perennial Mycelium للفطريات المذكورة نموه فى مركز الحلقة ، ثم ينتشر تدريجيا فى كل الاتجاهات مبتعدا عن المركز . يموت الغزل الفطرى الأقدم عندما ينفد محتوى التربة العضوى ، على حين ينتج الغزل الفطرى الأحدث أجساما ثمرية متعاقبة كل سنة يتراوح قطر مثل هذه الحلقة تبعا لعمرها ومعدل نموها ، بين المتر والعديد من الأمتار . لقد قدمت دراسات حلقات الجنيات فى مروج كولورادو (الولايات المتحدة) دليلا على وجود نوع الاجاريكس Agaricus ، الذى كون حلقة قطرها يقارب 60 مترا ، وقدر عمرها بحوالى 250 سنة .

بصمة السبورات : The Spore Print

تتضمن الصفات المميزة المستخدمة للتعرف على الواحد من أنواع عيش الغراب وتحديده بين الأنواع الاخرى بجانب التركيب الخارجي لون سبوراته . لايقترب بالضرورة لون السبورات بلون الخياشيم ، فكثيرا مايتغير لون الأخيرة بتقدمها في العمر ، وتتخذ ألوانا داكنة مع نضوج القبعة ، والسبورات المنفردة هي من الصغر بمكان بحيث تتعذر رؤيتها بالعين المجردة ، ناهيك عن تحديد لونها . وفي العادة يحدد لون السبورات بقطع الفطر وجلبه الى المختبر من أجل عمل بصمة لسبوراته . تتلخص العملية في قطع عنق الفطر بالقرب من قبعته ومن ثم توضع الأخيرة بخياشيمها الى أسفل على ورقة بيضاء وحيث ان بعض السبورات تكون بيضاء اللون أو تتخذ ألوانا باهتة تقطع قبعة أخرى في العادة وتوضع بنفس الطريقة على ورقة سوداء . تغطى القبعة بناقوس زجاجي ، لمنع توزع السبورات بتيارات الهواء ، وبعد مضى بضع ساعات يرفع الناقوس ثم القبعة بعناية . ويمكن مشاهدة السبورات التى سقطت على الورقة في شكل شعاعي يكون نسخة طبق أصل ترتيبها في الخياشيم (شكل 22 ـ 5) ، ويمكن التعرف على لون السبورات بسهولة .

تتخذ سبورات الأجناس المختلفة للفطريات الخيشومية ألوانا بيضاء أو ضاربة الى الصفرة أو بنية أووردية أو مائلة الى لون السلمون الأحمر أو الى البنى الداكن ، أو البنى القرمزى ، أو الى اللون الأسود ، هذا مع العلم بأن لون سبورات عيش الغراب الحقلي المعروف يكون بنيا قرمزيا .

فطريات عيش الغراب المأكولة : Edible Mushrooms

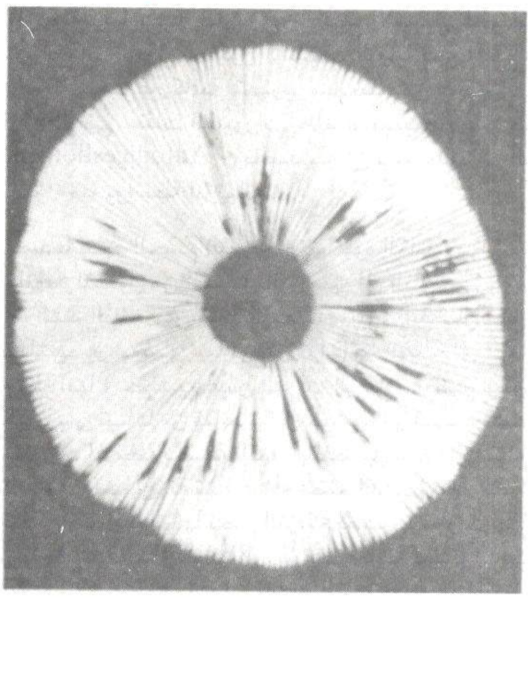
يؤكل الكثير من الفطريات الخيشومية ، غير أن أكل بعض أنواعها تعقبه أعراض التسمم مما يؤدى الى الوفاة في بعض الأحيان . يسمى العامة الأنواع التى تؤكل منها **بعيش الغراب** ، بينما يطلق على الأنواع السامة في مجموعها اسم الغاريقون السام Toadstools . **غالبية الفطريات المأكولة من** الفطريات الخيشومية ، ولكن بعضها مزود بأسنان أو أنابيب أو فجوات بدلا من الخياشيم . **كل فطريات النفث الحقيقية** True Puffballs (انظر شكل 22 ـ 15) **تؤكل كما أن بعض** الفطريات التى تؤكل مثل فطر الكمأة **Truffles أو الغوشنة** Morels من الفطريات الكيسية ، **إلا أن غالبيتها تكون من** الفطريات البازيدية .

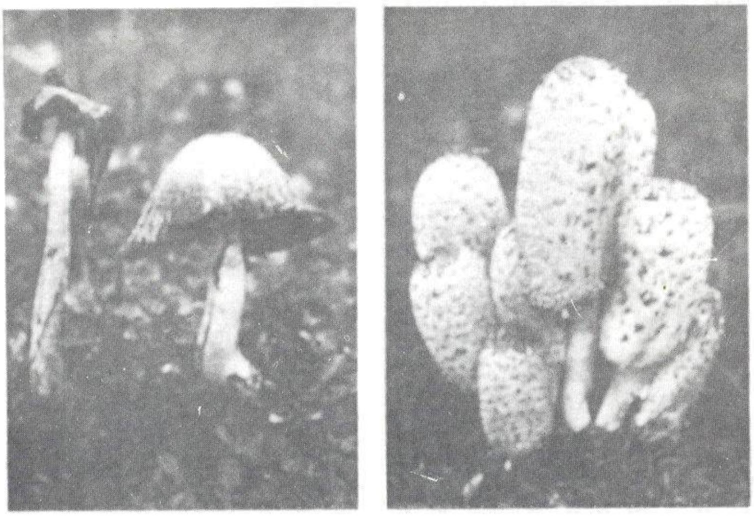


شكل (22 ـ 4) حلقة الجنيات

شكل (22 ـ 5)

بصمة سبورية لأمانيتا الملاك القاتل (Amanita verna)





شكـل (22 ـ 6)

فطـر عيش الغـراب ، العـرف الأشـعث (Coprinus comatus)

(اليسار) المرحلة التى تؤكل .

(اليمين) نفس الفطر بعـد أن هضمت قبعاتـه جزئيـا مما يتيح هروب السبورات .

على المرء أن يلاحظ أن الفطريات التى تؤكل تتشـابه كثـيرا مع الأنواع السامة من حيث الشكل . كما أن النوعين يمكن أن يوجدا فى الجنس الواحد . يشـاع اعتقاد أن هنـاك اختبارات يتمكن بها عديمـوا الخبرة من تمييـز الفطريـات المأكـولة عن السامة . ولاتوجد غير اجابة واحدة عـلى هذا : ليس لـدينا أى فحص أو طـريقة أو قـاعدة لتمييـز الفطريـات التى تؤكل عن السامة ، وليس على المرء إلا أن يكـون قادرا عـلى التعرف عـلى الأنواع فقط من صفاتها وسماتها النباتية . ويعتقد العامة على سبيـل المثال أن الملعقـة الفضية أو قطعـة عملة فضيـة سوف تصدأ إذا ماوضعت مع فطريات سامة أثناء طهيها ، وماأبعـد مايقولون عن الحقيقة . كما يؤكد بعضهم ايضا أن قبعة الفطر الذى يؤكل يسهـل تقشيرهـا أو سلخها بينمـا لايسهل تقشير قبعات الانواع السامة ، ويخلو هذا الزعم من الحقيقة أيضـا . كمـا أنه ليس من الضرورى أن تكـون الفطريـات التى تتغـذى عليهـا حشرات أو حيـوانـات صـالحـة لغـذاء الانسـان . والخلاصة : ينبغى ألا يعتمد المرء على أى اختبار أو قاعدة غير الصفات النباتية فى تمييز المـأكول عن السـام من الفطريـات ، علما بأن استبعاد مايكون مثارا لأدنى شك والامتناع عن أكلـه هو أسلم الأشياء .

من أبرز الفطريات المأكولة والتى يسهل التعرف عليهـا هى الفطـريـات من جنس الكـوبـرينس Coprinus ، وهى ذات سبـورات سـوداء وقبعـة حبـريـة Black – Spored Inky – Cap ، وتلقب أيضا بعيش الغراب . ينتشر الكثير من أنواعهـا فى المروج والحدائق وحول بقايا الأشجار المقطـوعة . وأكثـرها جذبا لـلانتباه فطـر العرف الأشعث Aaggy Mane (Coprinus Comatus) وقبعته حرشفية برميلية الشكل (شكـل 22 ـ 6) . ومـع قليل من الشـواذ فإن خيـاشيم أنواع هـذا الجنس تؤلف نمطا من الأجسام المحـررة للسبورات Spore – Liberating Body ، يخـالف ذلـك النـوع المـوجـود فى فطـر عيش الغراب الحقلى . ويعتبر فطر العرف الأشعث خير مثال لتصوير مانقول . فبدلا من أن تكون خيـاشيمه أفقيـة ، نجدهـا تأخـذ وضعا رأسيا بحيث تتلاصق حواف الخياشيم مع عنق الفطر . وتكـون هذه الخيـاشيم شديـدة النحافـة كما تكون جوانبهـا متوازية تقـريبا ، عـلى العكس من المقطع الاسفينى لخيـاشيم عيش الغراب الحقلى . وتكون المسافات البينية لخيـاشيم فطر العرف الأشعث غير كافية لتحـرير مـاتحمله من سبـورات الى الفراغ البينى . تفلت السبورات بظاهرة عجيبـة تسمى هضم الذات Autodigestion ، ونقصد بـه أن يهضم الكائن الحى أو أجزاء منه بواسطة انزيماته .

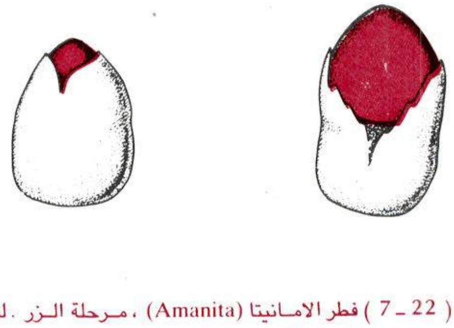
عندما يتخذ الجسم الثمرى حجم نموه الكامل تبدأ القبعـة فى التمدد لتتحول من الشكـل البرميـلى الى الناقـوسى . وتكون قوى الشد الناتجة عن تمدد القبعة ، سببا فى انفصال أطـراف الخياشيم عن بعضها مما يوصل فراغاتها البينية الى التماثـل مع نظيراتها فى خياشيم عيش الغراب الحقلى . تنضج سبورات الكـوبريس تبـاعا من قـاعدة كـل خيشوم الى قمتـه ، كمـا أن السبورات المحيطة بحـافة القبعـة تلفظ قبل غـيرها ، بنـاء على ذلك . وفى هذه المرحلة تبدأ عملية هضم الذات فعلها عند حافة القبعة ، وتميل نواتجها نحـو التراكم بصـورة قطرات حبـرية سوداء Black Inky Drops . تزحف عمليـة هضم الذات الى أعلى ومن ثم تحطم أجزاء الخياشيم التى تحررت من سبوراتها

وبذلك تتاح للقبعة فرصة الانفتاح والتوسع أكثر فأكثر كى تتحول من الشكل الناقوسى الى المظلى (شكل 22 ـ 6) . وتتواصل بهذا عملية احداث فراغات بين الأطراف الدنيا للخياشيم . ومع لفظ السبورات تهضم الأجزاء الخالية من السبورات ، ومن ثم تتحرر السبورات الراقدة فى أجزاء أعلى للخياشيم ، وتستمر هذه العملية حتى تلاشى القبعة بكاملها .

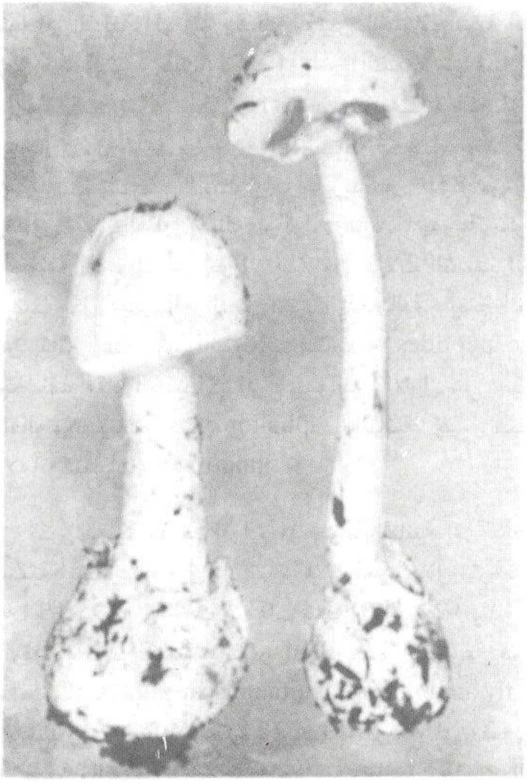
الفطريات الخيشومية السامة : Poisonous Gill Fungi

يعتبر أكثر من 70 نوعا من الفطريات الخيشومية مسببا لأعراض تسمم الانسان وليس هذا الرقم بكبير عندما يقارن بالآلاف العديدة من أنواعها غير السامة . يعثر على أكثر أشكالها سمية فى جنس الامانيتا Amanita . توجد بضع أنواع شائعة نسبيا تتميز بالغنى فى محتواها السمى ، وبذا تكون مميتة ، كما يحتوى هذا الجنس أيضا على بعض الأنواع التى تؤكل ، ولايقدر على تمييزها إلا ، الاختصاصى .

تحتوى فطريات الأمانيتا بجانب بعض الفطريات الخيشومية الأخرى ، وعلاوة على الخمار الجزئى Partial Veil الذى يمتد من حافة القبعة الى العنق ، على خمار ثانوى يسمى الخمار العام Universal Veil ، ويكون موجودا فى مراحل الفطر المبكرة . يمتد الخمار العام مغطيا الزر كله ويتهتك باستمرار النمو (شكل 22 ـ 7) . عندما ينضج الجسم الثمرى ، ربما تبقى مخلفات الخمار العام واضحة للعين بصورة خرق Fragments ، تعلو السطح (شكل 22 ـ 9) ، أو على طول حافة القبعة . وربما يعثر أيضا على كيس غشائى – Volva – وهو قسم الخمار العام المتبقى قرب قاعدة العنق . تتخذ الفولفا فى العادة شكلا كأسيا (شكل 22 ـ 7)



شكل (22 ـ 7) فطر الامانيتا (Amanita) ، مرحلة الزر . لقد تهتك الخمار العام من جراء نمو القبعة وعنقها .

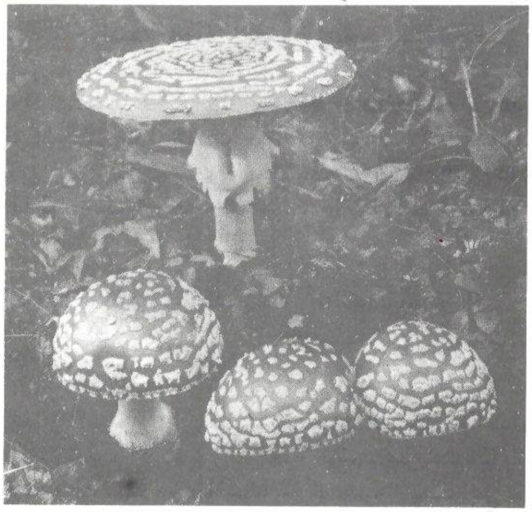


شكل (22 ـ 8) فطر الملاك القاتل (Amanita verna) .

22ـ8) وقد تكون حرشفية، وقد تتخذ هيئة الرفوف وتكون فى العادة مدفونة فى التربة كليا او جزئيا. كما تكون الحلقة المهترئة (بقايا الخمار الجزئى على اعلى العنق) هشة، ربما تختلف عند النضوج . ان وجود كل من الحلقة المهترئة والفولفا من السمات المميزة للامانيتا ولكن لايستنتج من هذا أن كل الفطريات الخيشومية الخالية من الفولفا مأمونة فى اكلها، فبعض الانواع السامة الاخرى تخلو من هذا التركيب.

من الانسب تصنيف فطريات الامانيتا السامة الى مجموعتين : تتكون المجموعة الاولى من حوالى ستة اصناف، تحوى اكثر انواع الامانيتا سمية. ففى المناطق الشرقية من امريكا الشمالية ووسطها يوجد اشهر هذه الانواع وهو امانيتا الملاك القاتل destroying angel (A manita verna)(شكل : 22 ـ 8) يكون هذا النوع ناصع البياض

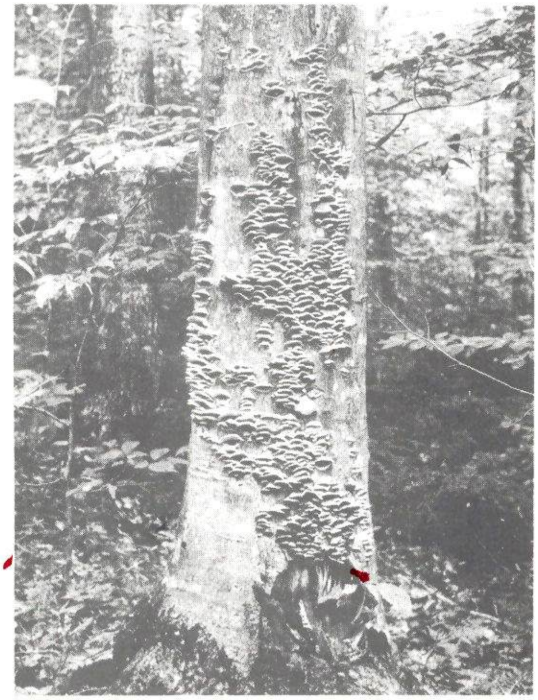
كما أن الحلقة المهترئة وكذلك الكيس الغشائى شبه الكأسى يظهران بوضوح عادة، تظهر اعراض التسمم من هذا النوع بين ست ساعات و 15 ساعة بعد اكله، وفى هذا الوقت تكون المواد السامة قد امتصت تماما ومن هنا تبلغ الوفيات مايزيد عن 50٪ من الذين يأكلون هذا الفطر المهلك. وانواع هذه المجموعة تكون فى الحقيقة المسئولة عن حوالى 90٪ من حالات التسمم الخطير بسبب اكل عيش الغراب فى امريكا الشمالية . ينتج التسمم من تأثير عدد من الببتيدات السامة toxic peptides. وتصنف هذه الببتيدات الى مجموعتين الاولى هى مجموعة الفالوتوكسينات phallotoxins، والثانية هى مجموعة الاماتوكسنيات amatoxins.



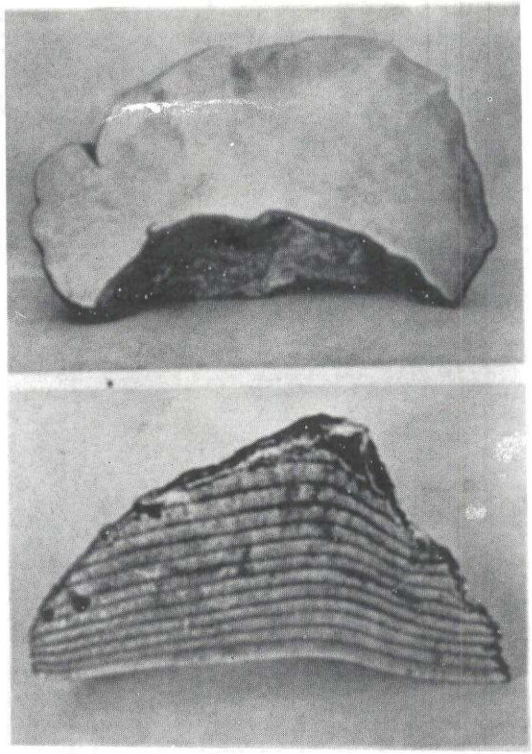
شكل (22 ـ 9) فطر الامانيتا الطائرة (Amanita muscaria) .

تكون درجة سمية انواع المجموعة الثانية اقل كثيرا من سمية المجموعة الاولى، اذ تظهر الاعراض خلال فترة تتراوح بين 15 دقيقة والثلاث ساعات بعد الاكل، وبذا يندر وقوع الوفاة بسبب اكلها، واشهر افراد هذه المجموعة هو فطر الامانيتا الطائرة fly amanita (Amanita muscaria واسع الانتشار فى العالم (شكل 22 ـ 9) يتراوح لون قبعته بين الاصفر والبرتقالى، وتغطيها حراشف بارزة-مخلفات الخمار العام. وتكون الفولفا حرشفية فى العادة تشكل سلسلة من حلقات عند قاعدة العنق. هناك نوع اخر فى هذه المجموعة هو فطر الامانيتا المتفرة panther fungus Amanita pantherina)، وهو افتك من الامانيتا الطائرة ويقال ان هذا النوع هو اعتى الانواع السامة التى تقطن شمال غرب الولايات المتحدة. تكون القبعة بنية رمادية، او صفراء رمادية، وتحمل بقايا الخمار العام فى صورة نتوءات صغيرة. كان يعتقد فى الماضى ان سمية هذه الانواع ترجع الى احتوائها على قلوانى هو الموسكارين muscarine ولكن اتضح الآن ان المسئول عن السمية هى ثلاثة مركبات كيميائية ابسط نسبيا، وليست من القلوانيات.

شكل (22 ـ 10) صنف من الفطريات المسامية ، يتطفل على خشب وقلف الزان .



الفطريات المسامية The Pore Fungi (Polyporaceae) ابرز هذه النباتات فى المجموعة هى الفطريات الجلدية او الخشبية او القوسية او الرفوفية shelf fungi، تلك التى تلاحظ نامية على الاشجار الحية والميتة على حد سواء . ويكون الجزء الظاهر من الفطر هو الجسم الثمرى الناتج عن الخيوط



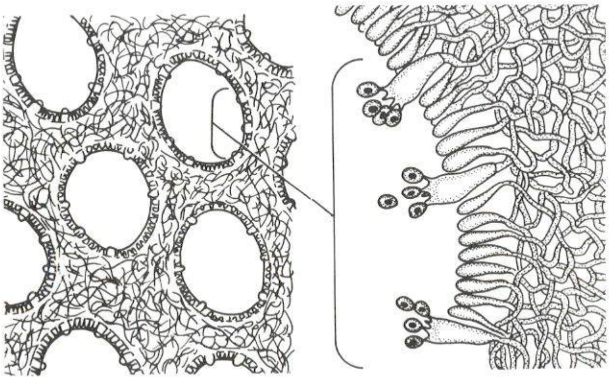
شكل (22 ـ 11) الجسم الثمرى لفطر رفوف (Fomes applanatus) .
(إلى أعلى) السطح الأسفل (ويحمل المسام) .
(إلى أسفل) قطاع فى الفطر يوضح مناطق النمو الحولى annual zones of growth

الفطرية الثمرية الموجودة فى الخشب . ونزع الجسم الثمرى من الشجرة التى تعيش فيها الخيوط الفطرية بالتطفل لايوقف نمو الفطر، وبذا لاتكون هذه طريقة لكبح انتشاره او القضاء عليه، فسوف تستمر الخيوط الفطرية فى التغذية على الخشب ومن ثم تكون اجساما ثمرية جديدة تمتد الاصابة فى الشجرة على مسافة تتراوح بين 120 ـ 180 سم اعلى واسفل الجسم الثمرى.

تكون الفطريات المسامية جنبا الى جنب مع بعض الانواع الخيشومية هى المسئول الاول عن تفسخ الاشجار الحية (شكل : 22 ـ 10) واعمدة الهواتف واعمدة الاسوار والانشاءات الخشبية. تحطم امراض الاشجار فى شمال امريكا سنويا مايناهز الاشجار المقطوعة لاستغلالها خشبيا وتكون الخسائر من جراء هذا اكبر مما تسببه الحرائق و الحشرات مجتمعة. تترسب سبورات الفطر على سطوح الاشجار الناتجة عن الحريق وقطع الاشجار وتقليمها والحشرات والزوابع والعواصف. بعد انبات السبورات تنتشر الخيوط الفطرية فى الانسجة المجاورة حيث تقوم بهضمها بواسطة انزيم السلوليز cellulase وغيره من الانزيمات. هناك طريقة ناجحة لمنع فساد الخشب ومنتجاته تكمن فى تسميم مصادر الغذاء اللازمة للفطر وذلك بمعالجة الخشب ببعض المواد الواقية، مثل الكريوسوت creoste الناتج عن تقطير قطران الخشب، او بمركبات تحوى الزنك والنحاس . كثيرا ماتغطى الجروح فى اشجار الظل والفواكه بطلاء واق او بسوائل اخرى لمعالجة الجروح، بهدف منع غزو هذا الفطر للجرح، سوف تستمر معظم الفطريات المسامية النامية على الاشجار الحية فى النمو حتى بعد موت الشجرة.

تشبه الاجسام الثمرية للفطريات المسامية الرفوف او الاعناق وتكون اما حولية annual او معمرة perennial (شكل 22 ـ 11) يكون اغلب الجسم الثمرى فى معظم الفطريات القوسية متكونا من انابيب مرتبة رأسيا او مائلة، وتظهر اطرافها كمسام تعلو السطح الاسفل وتحف البازيديومات والسبورات البازيدية جوانب هذه الانابيب (شكل 22 ـ 12) وعندما تلفظ السبورات، تسقط الى اسفل عبر هذه المسام، ومن ثم تحملها تيارات الهواء.

شكل (22 ـ 12) التكاثر فى فطر مسامى .
(اليسار) قطاع عرضى يبين جزءا صغيرا من الجسم الثمرى : تظهر تجاويف الأنابيب على هيئة فتحات .
(اليمين) جزء من أنبوبة واحدة ، مكبرة كثيرا توضح البزيديومات .



تنمو الانابيب فى الانواع المعمرة (شكل 22 ـ 11) سنويا الى اسفل وتكون هذه الاضافات الجديدة فى بعض الانواع طبقة محددة ومن هنا يمكن حصر عددها ومن ثم تحديد عمر الجسم الثمرى . وكثيرا مانجد اجساما ثمرية معمرة تحوى خمس عشرة طبقة منها، وقد نجد مايحوى حتى 80 طبقة . تكون سبورات هذا الشكل المعمر دائمة اللفظ ، اذ تلفظ اثناء الليل والنهار وفى فترة ربما تطول الى عدة اشهر . ولقد تأكد فى احد الانواع الشائعة على الاقل كالفوماس ـ (Fomes applanatus) سقوط السبورات باستمرار على مدى 6 شهور . اظهرت الحسابات ان المتر المربع من السطح المسامى يحرر حوالى 300 مليار من السبورات كل 24 ساعة، ويكون اجمالى عدد السبورات المتحررة من مثل هذا السطح فى كل فترة تحررها مايصل الى اكثر من 50,000 مليار.. وفى الظروف الملائمة يمكن ان تشاهد السبورات المتحررة بصورة سحابة بيضاء رقيقة تحت السطح الاسفل من الجسم الثمرى.

اغلب الفطريات المسامية يكون من الصلابة بحيث يتعذر اكله ولكن هناك بضعة انواع حولية تكون غضة فى فتوتها وبذا يمكن اتخاذها طعاما.

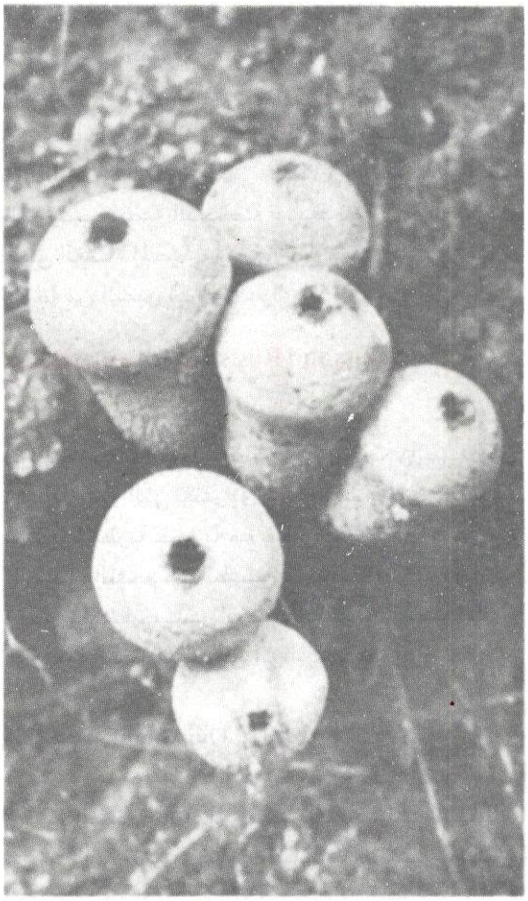
الفطريات المرجانية The Coral Fungi (Clavariaceae) تكون الفطريات المرجانية (شكل 22 ـ 13) من النوع اللحمى وتنتشر فى الكثير من البقاع . وكثيرا ماتنمو فى الغابات وفى التربة الدبالية الغنية وكذلك فوق اعقاب الاشجار المقطوعة وكذلك الاشجار الساقطة المتفسخة . اشتق اسم هذه الفطريات من تشابه العديد من انواعها لبعض مستعمرات الشعب المرجانية البحرية، يتراوح ارتفاعها من السنتيمترين وحتى 25 سم وتكتسب كل الالوان درجاتها المختلفة تقريبا من الابيض والرمادى وكل درجات البنى والاصفر والوردى بدرجاته والبنفسجى والقرمزى والارجوانى . تتكون البازيديوم وسبوراته البازيدية فى طبقة مستمرة تغطى اسطح الشعب المنتصبة. لاتستغل الفطريات المرجانية كثيرا فى الغذاء على الرغم من تركيبها اللحمى فى فتوتها . هناك نوع واحد منها يشك فى سميته.



شكل (22 ـ 13) فطر مرجانى (Clavaria stricta) ، نام على عقب شجرة متفسخ .

الفطريات النفاثة ونجوم الارض: The Puffballs (Lycoperdaceae) and Earthstars (Geastraceae)

تعتبر الفطريات النفاثة من الفطريات الشائعة فى كل مكان . تنمو انواعها فى المروج والتربة المزروعة وفوق اعقاب الاشجار المقطعة والقطع الخشبية الكبير المتفسخة . يكون جسمها المثمر شبه كروى او يتخذ شكل الكمثرى (شكل ـ 22 ـ 14) ولايظهر فيه اى عنق واضح. ويتكون الجسم الثمرى من غمد خارجى يغلف الانسجة حاملة السبورات، وتكون هذه الانسجة مقسمة فى فتوتها بجدران كى تكون



شكل (22 ـ 14) الفطر النفاث (Lycoperdom)

حفرا دقيقة مبطنة بالبازيدومات والسبورات البازيدية ويكون الجسم الثمرى فى هذه المرحلة ابيض او بلون القشدة، وبعد ذلك اى عندما تنضج السبورات تتحطم الجدران ويصبح داخل الجسم الثمرى كتلة من السبورات المسحوقية الجافة الصفراء او البنية مختلطة بخيوط فطرية متشعبة . وفى بعض الانواع ربما يتقشر الغمد Sheath ويتساقط متيحا للسبورات الافلات ، وفى انواع اخرى (شكل 22 ـ 14) تنشأ ثغرة فى قمة الجسم الثمرى عندما ينضج الاخير . كل الفطريات النفاثة مأكولة عندما تكون فتية اذا تصنع منها اطعمة لذيذة . كما ان عملاق الفطر النفاث giant puffball



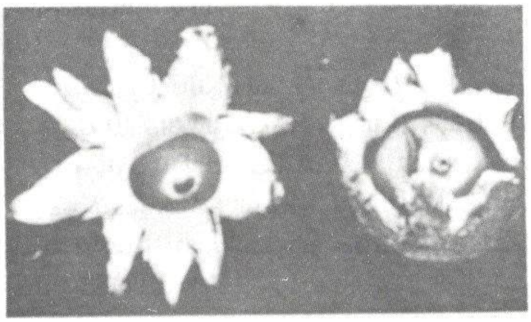
شكل (22 ـ 15)

أحد الفطريات النفاثة العملاقة (Calavatia gigantea) . يقدر أن فطرا بهذا الحجم يمكنه أن ينتج عددا من السبورات يكفى لتغطية مساحة ولاية بنسلفانيا كلها بمعدل 200 سبور للمتر المربع .

(شكل 22 ـ 15) هو اضخم فطر مأكول على الاطلاق ، اذ يبلغ قطر بعض افراده المتر تقريبا ويحوى جسمه الثمرى مليارات عديدة من السبورات.

ونجوم الارض (geastraceae) earthstars وهى من الفطريات قريبة الصلة بالنفاثة يتكون غمدها من طبقتين (شكل 22 ـ 16) تتفصص الطبقة الخارجية الى فصوص lobes سرعان ماتنحنى الى الخارج كاشفة عن طبقة داخلية تحيط بالنسيج الحامل للسبورات ، وتفلت السبورات من خلال ثغرة وحيدة . وفطريات نجوم الارض من النوع المأكول عندما تكون فتية ، مثلها مثل النفاثة.

شكل (22 ـ 16) أحد فطريات نجوم الأرض (Geastrum)



العوام . تجذب هذه الرائحة الحشرات مثل الذباب والخنافس وغيرها من حشرات الجيفة carrion – eating insects ومن ثم تلتصق السبورات باجسامها . يكون الجسم الثمرى لهذا الفطر خلال مراحل نموه الأولى ترابيا (تحت سطح التربة) subterranian ، كما يكون العنق مغلقا فى غشاء متين يتخذ بذلك مظهر وحجم بيضة الدجاجة . وبعد نضوج السبورات يحطم العنق الغشاء المحيط ، وسرعان ما يتمدد إلى أعلى حاملا الكتلة اللزجة من السبورات إلى الهواء .

أنواع التفحم والصدأ The Smuts and Rusts

تعتبر الفطريات التى تسبب أنواع التفحم والصدأ من الفطريات البازيدية التى تفتقر إلى جسم ثمرى بارز . يتألف الفطر من خيوط فطرية خضرية مع سبورات مختلفة الأنواع . وأنواع الصدأ والتفحم من الطفيليات وتسبب أمراضا نباتية خطيرة تجر وراءها خسائر اقتصادية فادحة ، مما يلزم المسئولين باجراء مختلف التدابير الوقائية المكلفة .

أنواع التفحم : The Smuts

يشير اسم التفحم smut إلى التجمعات الترابية السوداء من السبورات التى تنشأ فى نسيج النباتات المضيفة . وتكون هذه السبورات من نوعين عامين : السبورات التيلية (التليوسبورات teliospores)والسبورات البازيدية ، ينشأ النوع الأول داخل خلايا الخيوط الفطرية . تتحول جدران الخيوط الفطرية إلى هلام (جيلاتين) ومن ثم يصبح بروتوبلازم كل خلية سبورا يغلفه جدار سبورى داكن سميك ، وتتلاشى الجدران الهلامية محررة مابها من سبورات . تتهتك أنسجة المضيف وتتحرر السبورات وتنتشر disseminate بفعل الرياح أساسا . وتغزو فطريات التفحم وتفسد مختلف أنسجة النباتات التى تستضيفها ، وفى العادة تصيب أعضاء التكاثر مثل الزهرة والبذور (شكل 22 ـ 18) ، كما أن الانسجة الخضرية تصاب أيضا فى بعض الاحيان ، يصبح نسيج المضيف فى بعض أمراض التفحم منتفخا بشدة أثناء تكوين السبورات التيلية ، بينما يستهلك الفطر فى أمراض أجزاء اخرى التى يهاجمها بدون أن يكون انتفاخات أو أوراما موضعية galls .



شكل (22 ـ 17) أحد فطريات القرن النتن stinkhorn (Dictyophora duplicata) تكون الطبقة الخارجية لعنق هذا النوع قابلة للانفصال وتتدلى إلى الاسفل بصورة خمار . لاحظ وجود ذباب الرمم يأكل من سبورات الفطر .

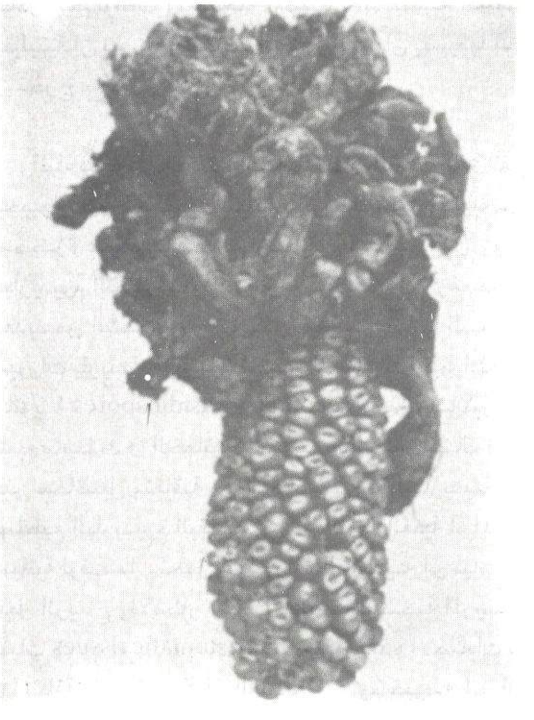
فطريات القرن النتن : The Stinkhorn Fungi (Phallaceae)

تنمو فطريات القرن النتن (شكل 22 ـ 17) فى أى مكان تتوفر فيه المادة العضوية بغزارة مثل الدبال وأعقاب الأشجار العاطنة ، أو نشارة الخشب المتفسخة . يتكون النبات الناضج من عنق أجوف منتفخ الطرف ، حيث تولد السبورات على سطح الانتفاخ . تكون السبورات مدفونة فى مادة هلامية تفوح منها رائحة اللحم الفاسد ، ومن هنا اكتسب الفطر اسمه بين



شكل (22 ـ 18)

فطريات تسبب تفحم الحبوبيات الصغيرة (من اليسار إلى اليمين) فطريات التفحم المغطى والسائب للقمح والشوفان والشعير . وكلها (ماعدا فطريات التفحم السائب للقمح والشعير) يمكن السيطرة عليها بالمعالجة المناسبة بمركب يحوى الزئبق .

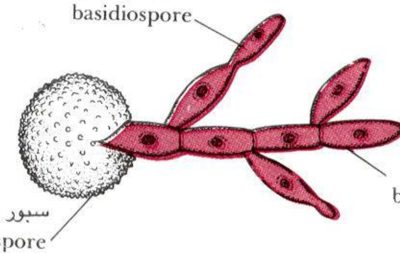


شكل (22 ـ 19) فطر التفحم الشائع (Ustilago maydis) ويصيب الذرة .

أهم أمراض التفحم تظهر فى الحبوبيات إذ تصيب القمح والشعير والشيلم والشوفان والذرة البيضاء والدخن والذرة . كما تهاجم أيضا البصل والبنفسج والقرنفل ونجيليات المروج والأعلاف ، وعصا الراعى knotweeds وكذلك البردى sedges . تختلف دورات حياة فطريات التفحم المختلفة وذلك فى بعض تفاصيلها ، وكثيرا ما تحدد هذه التفاصيل طرق التحكم فى الأمراض وكبحها . تم التعرف حتى الآن على أكثر من 1100 نوع من فطريات التفحم . تسبب خسارة للمزارعين الامريكيين تقدر بمئات الملايين من الدولارات سنويا .

فتفحم الذرة الشائع مثلا هو من الأمراض المعروفة سهلة التعرف عليها ، وتصيب كل أصناف الذرة وتقع فى كل المناطق التى ينمو فيها المضيف . يصعب فى أمريكا الشمالية تقدير الخسائر الناجمة عن تفحم الذرة ، ولكنها تتراوح بين النسبة الضئيلة وحتى 6 ٪ من المحصول ، وربما تزيد فى مساحات موضعية . ربما تظهر أعراض المرض على أى جزء من النبات بما فى ذلك الشرابات (او شوش) tassels والعصافات husks والكيزان ears والأوراق وحتى السيقان . وأول أعراض مرض التفحم هو ظهور انتفاخات فى مختلف الأحجام ، وتكون هذه الانتفاخات مغطاة فى البداية بغشاء لماع من نسيج المضيف ، ويتخذ لونا يميل إلى الخضرة أو البياض الفضى . يتهتك هذا الغشاء بعد ذلك كاشفا عن كتلة سوداء شحمية ربما تكون مسحوقية ، تحوى ملايين عدة ، من السبورات التيليتية ذات أشواك غزيرة (شكل 22 ـ 19) .

تحمل الرياح هذه السبورات حيث تقع على التربة أو على أجزاء النبات وهناك أما أن تنبت أو تدخل فى فترة سبات ، وهذا هو الشائع وتمتد هذه الفترة حتى بدء فصل النمو التالى . عندما



شكل (22 ـ 20) فطر تفحم الذرة توضح الصورة سبورتيليتى وسبور بازيدى .

تأكل الحيوانات الأنسجة المصابة تستطيع السبورات التيليتية أن تمر داخل جسم الحيوان دون أن يصيبها أذى إلى أن تخرج مع نفاياته .

وأثناء فترة انبات هذه السبورات فى التربة أو فى نفايات الحيوان ينتج السبور التيليتى الواحد منها أنبوبة مطولة ومحجزة عرضيا هى البازيديوم (22 ـ 20) . ويكون البازيديوم النمطى مكونا من أربع خلايا ، على الرغم من وجود العديد من الشواذ ، وتنتج كل خلية من خلايا البازيديوم سبورات بازيدية ، وربما تنتج هذه السبورات سبورات بازيدية ثانوية secondary basidiospores ، وذلك بالتبرعم بما يشبه مايحدث فى الخمائر . هذا مع العلم بأن هناك امكانية جنى محاصيل متعاقبة من هذه السبورات البازيدية ، حيث يستطيع البازيديوم البقاء مترمما فى التربة الغنية أو المخلفات النباتية لوقت ما . تحمل السبورات البازيدية إلى نبات الذرة بفعل الرياح والأمطار ، حيث تصيب الأنسجة المريستيمية للنبات meristematic tissues . وتكون هذه الاصابات محلية فى المنطقة المحيطة بمكان العدوى . تقوم خيوط فطر التفحم smut hyphae بتحفيز الخلايا البرنشيمية لهذه المنطقة على متابعة الانقسام ، ويحتوى الانتفاخ الناتج على أنسجة المضيف علاوة على الخيوط الفطرية للفطر وسبوراته .

لقد أوضحت التجارب أن فطر تفحم الذرة هو من النوع المتباين الثالوس مثله فى ذلك مثل غيره من الفطريات . عندما يصاب نبات الذرة بعد انبات أحد السبورات البازيدية من احدى السلالات تكون الخيوط الفطرية النحيفة ، للعدوى ضعيفة فى تطفلها ، وبذلك لاتكون سبورات تيليتية . بينما نجد الخيوط الفطرية الناشئة عن السبورات البازيدية للسلالات المضادة تتمكن من الاندماج داخل نسيج المضيف ، وتنشأ من ثم خيوطا فطرية أكثر سمكا تحوى أعدادا غفيرة من أزواج الأنوية . وينتشر الفطر فى نسيج المضيف مكونا جدرانا خلوية بين كل زوج من الأنوية ، وهنا تندمج أنوية هذه الخلايا التى تتحول إلى سبورات تيليتية . وتكون نواة السبور التيليتى ، بناء على ذلك ثنائية المجموعة الكروموسومية diploid ـ وهى النواة الثنائية الوحيدة فى دورة الحياة . ويحدث الانقسام الاختزالى عندما تنبت السبورات التيليتية ، ومن ثم تعود السبورات البازيدية احادية المجموعة الكروموسومية haploid الناشئة بناء على ذلك على البازيديوم ، إلى سلالتين مختلفتين .

يصعب التحكم فى انتشار تفحم الذرة . ولكن فى أمراض التفحم التى تصيب الحبوبيات (الغلال) الأخرى ، يحمل الفطر إما خيوطا فطرية داخل البذرة ، أوكسبورات تعلو سطح البذرة . وبناء على ذلك تكون معالجة البذرة طريقة واسعة الانتشار للتحكم فى المرض . وعلى العكس من ذلك ففى تفحم الذرة لا يوجد الفطر خلال الشتاء فى الحبة أو فوقها وبدا تكون معالجة البذور عديمة الفائدة . تكمن الوسائل الناجحة للتحكم بالمرض فى استنباط أصناف الذرة المقاومة لمرض التفحم .

أمراض الصدأ : The Rusts

جاء اسم « الصدأ » من السبورات المتكونة على المضيف والتى تتخذ مظهرا مسحوقيا يتخذ الوانا تميل إلى الحمرة وقد تكون صفراء أو برتقالية أو بنية أو سوداء . يعرف من أمراض الصدأ مايزيد عن 2000 نوع تتطفل كلها على النباتات البذرية أو السرخسيات ferns . وتتفوق هذه الأنواع على غيرها من مجاميع الفطريات فى اصابتها للنباتات ذات النفع للانسان . كما أن الكثير من أهم محاصيلنا وغاباتنا وكذلك نباتات الزينة يتطفل عليها مختلف فطريات الصدأ .

تكون دورة حياة الكثير من أنواع فطريات الصدأ بالغة التعقيد ، اذ يدخل فيها مايصل إلى 5 أنواع من السبورات

تتعاقب فى تتابع محدد . ففى بعض فطريات الصدأ تنشأ الأنواع الخمسة من السبورات بينما تغيب الأنواع عن دورة الحياة فى أنواع أخرى من فطريات الصدأ . ففى بعض الأنواع لا ينمو غير نوعين من هذه السبورات . هذا مع العلم بأن كل فطريات الصدأ تنتج سبورات تيليتية .

يمكن تقسيم فطريات الصدأ بناءً على علاقاتها بالنبات المضيف إلى مجموعتين : تسمى الأولى فطريات الصدأ متباينة المسكن heteroecious rusts حيث تتطلب أنواعها مضيفين لا تربطهما صلة قربى كى تكمل دورة حياتهما العادية . تنتج أنواعاً بعينها من السبورات على مضيف ، بينما تنتج السبورات الأخرى على مضيف مغاير آخر . أما المجموعة الثانية وتسمى بذاتية المسكن autoecious rusts ، فتتم دورة حياتها على نفس نوع المضيف ، وعادة مايكون هذا على نفس النبات المصاب ومن بين الأنواع الهامة لفطريات الصدأ متباينة المسكن نجد بثور الصنوبر الابيض white pine blister rust . الذى يتخذ مسكنه التبادلى فى نبات الريباس (الكشمش) currant ونبات عنب الثعلب goosberry كمضيفين متبادلين ، وصدأ الأرز والتفاح ـ ceoar apple rust الذى يصيب التفاح والتفاح البرى crabapple وأنواعا معينة من نبات العرعر (juniperus) juniper ، والصدأ التاجى Crown rust الذى يصيب الشوفان والعديد من النجيليات وانواعا كثيرة من نبات النبق المسهل (buckthorn (Rhamnus ، وصدأ سواد الساق black stem rust ، الذى يصيب الحبوبيات والكثير من النجيليات وأنواعا معينة من البربريس baraberries ومن أكثر أنواع الصدأ ذاتية المسكن شيوعا يوجد صدأ الفاصوليا rust of bean ، وصدأ الخطمى hollyhock rust وصدأ أزهار حنك السبع snapdragon rust ، وصدأ الكريزانثيم (الاقحوان) chrysanthemum rust of وصدأ الورد rust of roses والقرنفل carnation والتوت الشوكى black berry والكتان flax . لم يستدل بعد على تاريخ النشوء والارتقاء لظاهرتى تباين وذاتية المسكن فى الفطريات .

لا تقتصر حالة تبادلية المضيف تماما على فطريات الصدأ ، ولكنها تتضح بجلاء فى هذه المجموعة . إذ تقوم علاقات متشابهة إلى حد ما فى المملكة الحيوانية animal kingdom . فمثلا تعيش الدودة الكبدية liver fluke فى جسم كل من الخراف والابقار والخنازير وحتى الانسان ، كما تقضى فترة من دورة حياتها داخل أنسجة أنواع بعينها من قواقع الماء العذب . وبالمثل نجد أن أنواعا بعينها من البرزوى (البروتوزوئى) protozoans تعيش على مضيفين ومثالها الكائن الحى المسئول عن مرض الملاريا ، حيث يعيش فى كل من الانسان وأنثى بعوض الملاريا Anopheles mosquitoes

صدأ سواد الساق فى الحبوبيات والنجيليات *Black stem rust of cereals and grasses*

يبرز تاريخ حياة فطر صدأ سواد الساق (puccinia graminis) درجة تعقيد دورة حياة العديد من فطريات الصدأ وكذلك طرق حماية احتياطيات غذائنا . فلقد اجتاح هذا المرض حقول الحبوب لقرون متعاقبة ، كما يوجد فى كل المناطق تقريبا ، حيث تكون الحبوبيات من المحاصيل الهامة . ولقد ظهر بشكل وبائى فى فترات عديدة فى الولايات المتحدة وخصوصا فى الساحات الشاسعة المزروعة بالقمح الربيعى لاسيما فى أعالى وادى المسيسبى . يتسبب مرض صدأ سواد الساق ايضا فى إحداث خسائر كبيرة فى محاصيل القمح والشوفان والشعير الشتوى ، علاوة على إصابته لبعض الاعلاف ونجيليات المراعى . فقد قلص المرض محاصيل الحبوب فى الولايات المتحدة بما يزيد عن 300 مليون بوشل فى سنة واحدة . ينتج فطر سواد الساق خمسة انواع من السبورات فى دورة حياته المعقدة .

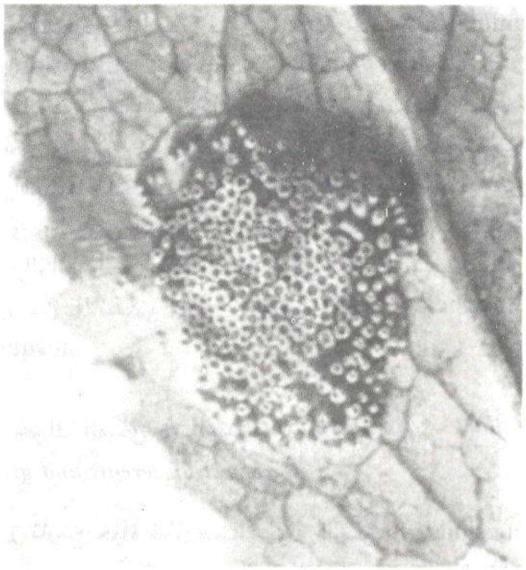
مرحلة الكاس العنقودية : The Cluster Cup Stage

نبات البرباريس (Berberis vulgaris)التى جاءت من اوروبا الى امريكا مع دخول الاستعمار . ومن ثم انتشر هو المضيف الرئيسى للكاس العنقودية هذا مع العلم بأن البرباريس اليابانى (Berberis thunbergli) Japanese narberry وهو من النباتات المزروعة كسياج ، لا تنتقل إليه العدوى بفطر صدأ القمح .

مراحل فطر الصدأ الأحمر و الأسود Red and Black Rust Stages

لسبورات الكأس العنقودية الناشئة على أوراق البرباريس القدرة على إصابة هذا النبات بالمرض ولكنها تسبب أيضا أمراض صدأ القمح ، والحبوبيات الصغيرة والنجيليات أيضا . فإذا ما سقطت على نبات مضيف منها وفق ظروف جوية ملائمة-درجة رطوبة عالية مع انتشار الضباب والندى الكثيف أو الامطار الخفيفة وفي ظل درجات حرارة من 20 مْ فأعلى - تبدأ في الإنبات باعثة أنابيب جرثومية تخترق ثغور الورقة أو الساق متغلغلة في أنسجتها . يمكن للسبورات الناتجة على نبات البرباريس أن تعدى نباتات حبوبية ونجيليات تبعد مئات الكيلومترات عن زراعات البرباريس من الحسابات التقديرية يستنتج أن شجيرة واحدة مصابة من شجيرات البرباريس يمكن أن تنتج 70 مليار من سبورات الكأس العنودية ، ومن هنا ندرك السر في حدوث إصابات وبائية تصيب حقول القمح إذا ما جاورت نبات البرباريس المصاب .

تتغلغل خيوط فطر الصدأ داخل أنسجة نبات الحبوبيات أو النجيليات وتنتج أعدادا هائلة من السبورات اليوريدية uredospores وحيدة الخلية ، التي تغزو بشرة المضيف مكونة بثورا بنية محمرة في لونها ومستطيلة الشكل . والاخيرة تؤلف الصدأ الأحمر وهو ما يكون مرحلة بواكير الصيف . تكون السبورات اليوريدية بيضاوية تغطيها أشواك قصيرة وتولد فرادى على أطراف خيوط فطرية تخصصية (شكل 22 ـ 22 إلى اليمين) . من الإصابة الاصلية الناتجة على الحبوب أو الحشائش الصغيرة التى تظهر في أواخر الربيع أو بداية الصيف تحمل التيارات الهوائية السبورات اليوريدية وترسيها على نباتات الحبوبيات والنجيليات الأخرى ، حيث تقع إصابات جديدة وتستمر الحال حتى تنضج الحبوب . ربما تنتج الواحدة من بثور الصدأ الاحمر ما يصل إلى 350 الفا من السبورات اليوريدية تستطيع بدورها اذا ما توفرت لها الظروف المناسبة أن تدخل فورا في مرحلة الانبات . حيث تكون الفترة بين الانبات وبين ظهور بثور جديدة لا تزيد في الغالب عن العشرة أيام في الجو الدافىء والرطب ، يكون مضموننا انتشار فطر

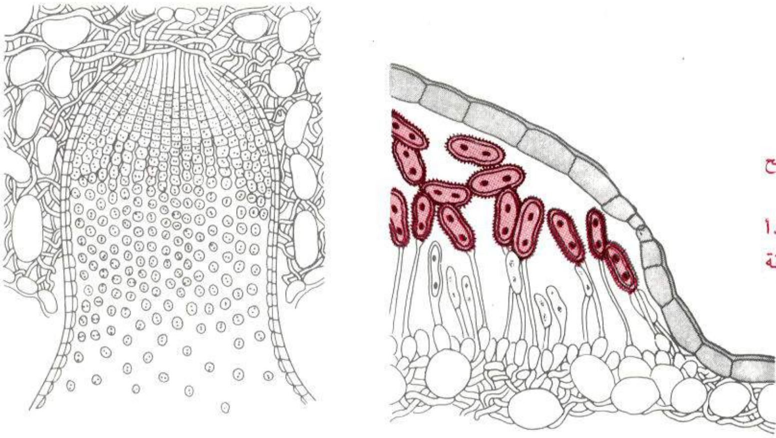


شكل (22 ـ 21)

جزء من ورقة نبات البرباريس (Berberis vulgaris) ويحمل كؤوسا عنقودية لفطر (Puccinia graminis) .

وفي الربيع تظهر مرحلة الكأس العنقودية على السطح السفلى من أوراق نبات البرباريس كمساحات منتفخة صغيرة تحمل مجاميع الكؤوس العنقودية (Aecia (Cluster cups) (شكل 22 ـ 21) . تكون الكؤوس مقفولة في صغرها ومدفونة في نسيج الورقة . وسرعان ما تخترق سطح الورقة مع توالى نموها ومن ثم تتفتح كاشفة سبوراتها .

تتكون الكأس نفسها من طبقة وحيدة من خيوط فطرية تميل إلى بياض كما تكون أعلى خلاياها التى تكون جافة الكأس سهلة الانتزاع ، وبذا تهترىء حافة الكأس . يوجد داخل الكأس سبورات الكأس العنقودية aeciospore الثنائية الأنوية binucleate ، ولونها بين الأصفر والبرتقالى . وتمتد في سلاسل تخرج من خلايا عنق تخصصى . يوجد عند قاعدة الكأس (شكل : 22 ـ 22) . تتساقط سبورات الكأس العنقودية من كأسها مع النضج ومن ثم تحملها بعيدا تيارات الهواء .

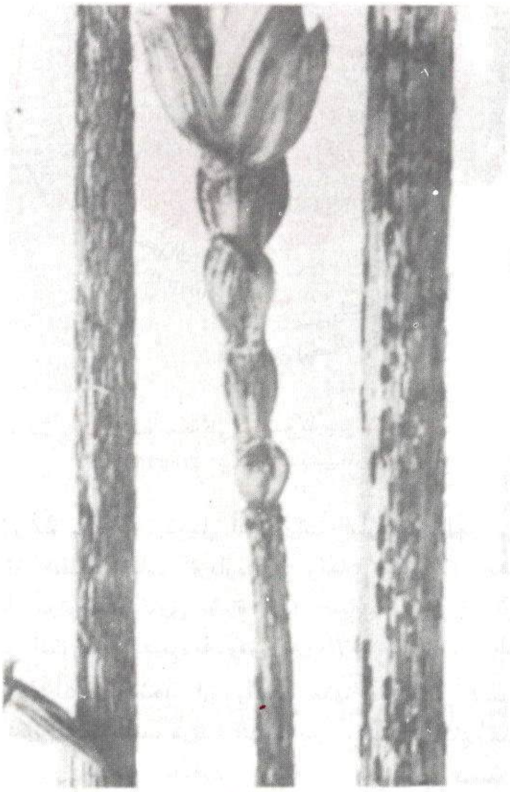


شكل (22 ـ 22)

فطر صدأ سواد الساق (Puccinia graminis)
(اليسار) قطاع طولى فى كأس عنقوديه يوضح سلاسل سبورات الكؤوس العنقودية .
(اليمين) جزء من بشرة pustule لمرحلة الصدأ الأحمر . لقد دفع نمو السبورات اليوريدية بشرة الورقة إلى أعلى .

شكل (22 ـ 23)

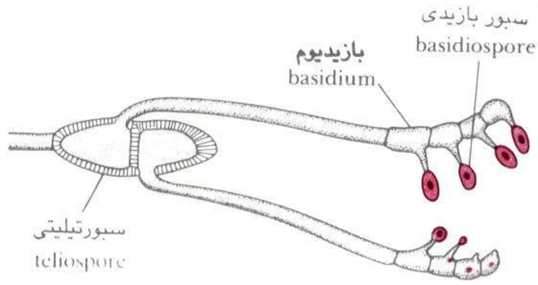
فطر صدأ سواد الساق Puccinia graminis . بثور مرحلة الصدأ الأسود تعلو ساق القمح . وتظهر بثرة مرحلة الصدأ الأحمر بنفس الشكل فيما عدا اللون البنى المحمر .



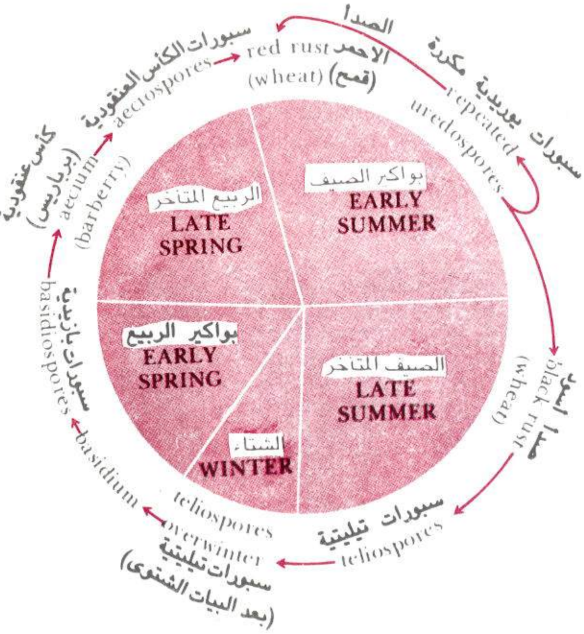
الصدأ هذا فى حقل قمح كانتشار النار فى الهضيم . علاوة على ذلك ربما تحمل السبورات الحمراء بتيارات الهواء إلى أعلى وتقطع بذلك آلاف الكيلومترات دون أن تفقد حيويتها .

عندما يبدأ نضوج الحبوب يظهر نوع آخر من السبورات هى السبورات التيليتية ثنائية الخلايا two ' celled teliopore . والاخيرة هى سبورات طويلة تغلفها جدران سميكة تميل إلى اللون البنى ، وتظهر كتلها بلون أسود ، وتسبب ما يسمى بمرحلة الصدأ الأسود . يمكن للسبورات التيلتية أن تنمو فى واحدة من البثور كانت تنتج سبورات يوريدية أو تنشىء لنفسها بثورا جديدة تظهر بعد الاصابة المتأخرة بواسطة السبورات اليوريدية . هذا مع العلم بأن البثور الناتجة عن كل من مرحلتى الصدأ الأحمر والأسود تكون متماثلة إذا ما تجاهلنا اختلاف الأنواع فى السبورات التى تسببها (شكل 22 ـ 23) .

تعتبر السبورات التيلتية سبورات ساكنة تعيش فى الشتاء على القش أو غيره من المخلفات ومن ثم تبدأ الانبات مع بواكير الربيع . وفى هذا الوقت تكون كل من خليتى السبورات التيلتية واحدا من البازيديومات طويلة الشكل ورباعية الخلايا . ومن ثم ينتج البازيديوم أربعة سبورات بازيدية



شكل (22 ـ 24) فطر صدأ سواد الساق Puccinia graminis سبورتيليتى والبزيديوم وسبورات بازيدية .



شكل (22 ـ 25) رسم تخطيطى يوضح تاريخ حياة فطر Puccinia graminis . يخلو الرسم من المرحلة الجنسية .

(شكل 22 ـ 24) ، تحمل السبورات البازيدية بالهواء إلى الأوراق الفتية لنبات البرباريس . وهناك يكون كل سبور انبوبة جرثومية تخترق بشرة ورقة النبات ، ومن ثم تبدأ مرحلة الكؤوس العنقودية . ومن بين الانماط الاربعة التى شرحناها أعلاه ، نجد أن واحدا منها فقط هو السبور البازيدى الذى يسبب مرض البرباريس ، كما أن اثنين منها وهما سبور الكأس العنقودية والسبور اليوريدى يصيبان القمح أو النجيليات الأخرى ، أما السبور الرابع التيليتى الذى ينتج البازيديوم فليس باستطاعته نقل المرض لاى مضيف بصورة مباشرة (شكل 22 ـ 25) .

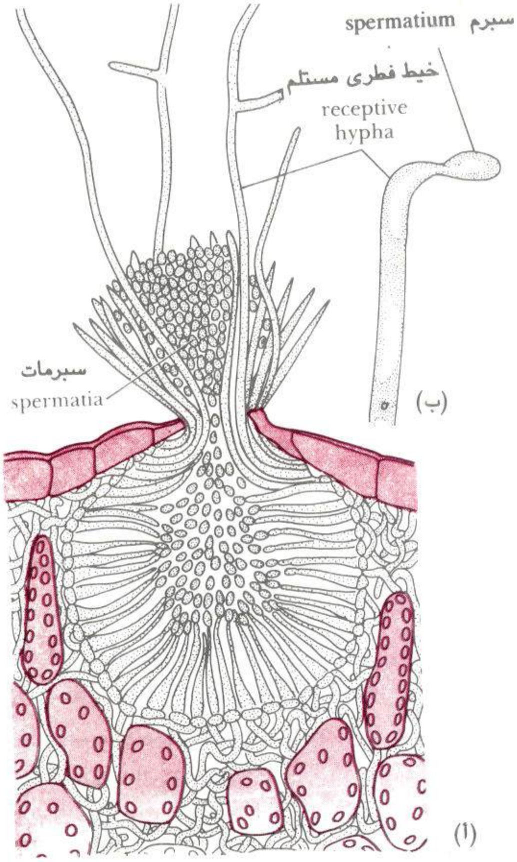
يحصل انخفاض المحصول فى النباتات المصابة بالصدأ فى المقام الاول بسبب انكماش وتقلص الحبوب الناتجة بدلا من السنابل العادية . إذ تحطم خيوط الفطر الأنسجة الكلورنشيمية وتلتهم كميات كبيرة من الغذاء الذى كان متاحا للتخزين فى الحبوب . علاوة على ذلك يتسبب تهتك بشرة الورقة عند موقع البثور فى زيادة النتح transpiration . إن نهب الفطر لغذاء النبات يضعف ساقه وجذوره بجانب تسببه فى استقطاع الاغذية الموجهة لملء الحبوب . كما أن النباتات المصابة بالصدأ سرعان ما تسقط على الأرض وتصير منظوماتها الجذرية الواهنة غير قادرة على تلبية احتياجات النبات بالقدر الكافى من الماء فى ظروف الجو الجاف .

السبرمات وتباين الثالوس Spermatia and heterothallism

يعتبر خامس انواع السبورات الداخلة فى دورة حياة فطر صدأ الساق له دخل فى العادة فى الاحداث التى تؤدى الى التكاثر الجنسى فالكؤوس العنقودية المتكونة على السطح السفلى من ورقة البرباريس تحوى تراكيب تعرف بحوافظ السبرمات Spermagonia وذلك على السطح الاعلى من هذه الكؤوس وتتخذ شكل الفراعات الكروية الصغيرة التى تشبه الثمار الكيسية المفتوحة ، وتبطنها خيوط فطرية وتكون مزودة بثغرة . تنشأ على اطراف هذه الخيوط الفطرية سبورات دقيقة وعديمة اللون تسمى السبرمات Spermatia (شكل : 22ـ26). كما تنمو خيوط فطرية مستلمة من الجدران الجانبية وتخرج من خلال الثغرة .

يكون فطر صدأ الساق متباين الثالوس كما ان السبورات البازيدية الناتجة فى فصل الربيع تكون من نمطين قرينين سالب وموجب . عندما تصاب ورقة نبات البرباريس بواسطة سبور بازيدى باى من النمطين القرينين ، تنشأ خيوط فطرية احادية المجموعة الكروموسومية فى انسجة الورقة . وسرعان ما تتشعب هذه الخيوط وتنمو بنشاط مما ينشىء عنقودا من

حافظات السبرمات على السطح الاعلى من الورقة ، وينشىء ايضا مجموعة من الكؤوس العنقودية غير الناضجة تحت السطح السفلى مباشرة . وتكون كل كأس عنقودية فى هذه المرحلة الابتدائية مكونة من خيوط فطرية علوية مضغوطة على بعضها البعض بما يشبه لحمة Weft النسيج ، وتكون هى الخلايا الاساسية ومجموعة من خلايا اكبر تشبه الخلايا البرنشيمية وتأتى تحت الاولى (شكل 22ـ127أ) وما لم تصبح الخلايا الاساسية ثنائية الانوية dikaryotic فلا



شكل (22ـ26) فطر (Puccinia graminis).

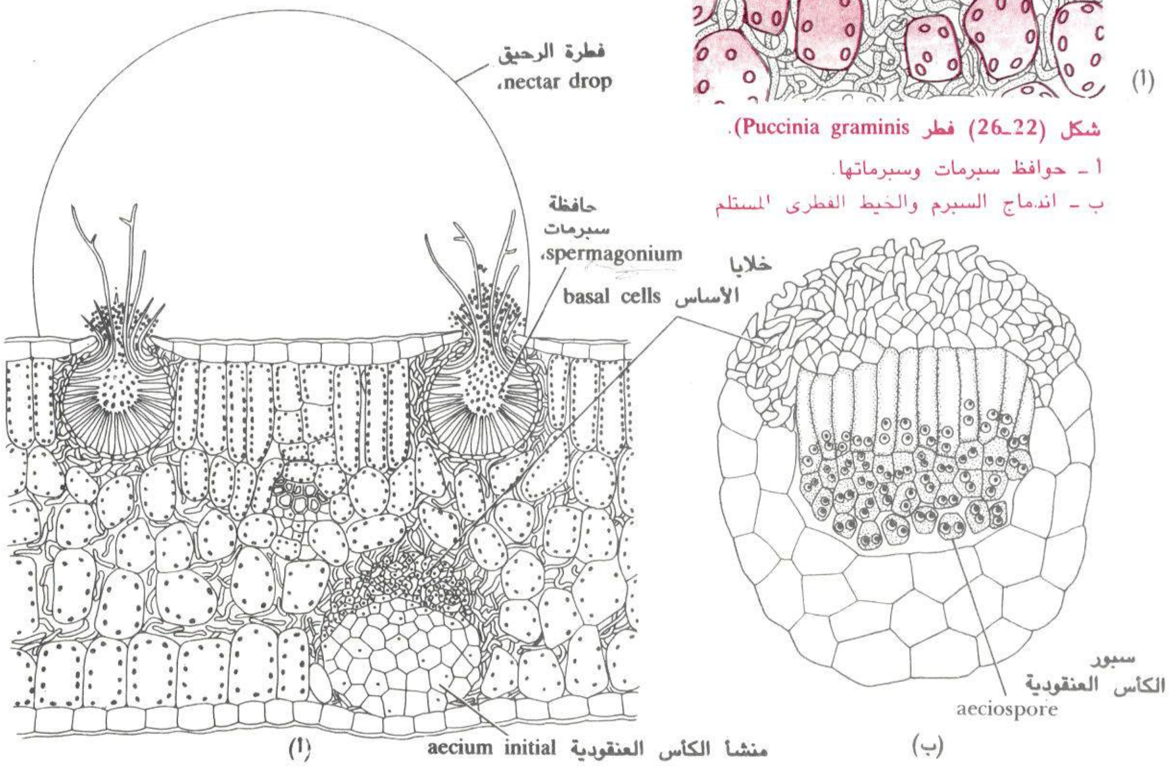
أ ـ حوافظ سبرمات وسبرماتها.

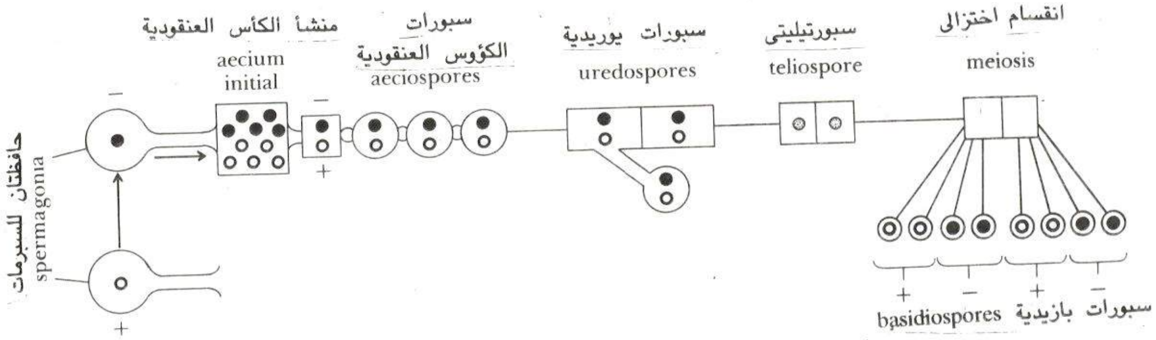
ب ـ اندماج السبرم والخيط الفطرى المستلم

شكل (22ـ27) فطر (Puccinia graminis).

أ ـ قطاع عرضى فى ورقة البرباريس ويظهر اثنان من حافظات السبرمات فوق السطح العلوى للورقة، تغطيهما نقطة من الرحيق وكذلك منشأ كأس عنقودية بالقرب من سطح الورقة الأسفل، لقد نشأ كل من حافظتى السبرمات ومنشأ الكأس العنقودية من سبور بازيدى وحيد لاحد النمطين القرينين. وتكون خلايا منشأ الكأس العنقودية أحادية النواة Uninucleate.

ب ـ كأس عنقودية فتية مكبرة، وتكون سبورات الكأس العنقودية ثنائية الانوية الان.





شكل (22_28) رسم تخطيطى يوضح دورة الحياة التامة لفطر (Puccinia graminis).

تستطيع الكأس العنقودية aecium ان تواصل تكوين سبورات وبذا تفقد وظيفتها . يتتابع تطور الكأس العنقودى فقط بعد انتقال السبرمات من النمط القرين المعاكس الى حافظات السبرمات المصاحبة لبوادر الكؤوس العنقودية .

لاتتم عملية الانتقال المذكورة الا بفعل الحشرات . فالجدران الخلوية للسبرمات تكون هلامية التركيب ، كما تنفتح السبورات خارجة من الثغرات وملتصقة بالرحيق (شكل 22_27أ)، ذلك الرحيق الذى يجتذب الحشرات وخصوصا الذباب . تزور الحشرات حافظات السبرمات ثم تطير حاملة معها السبرمات وناقلة اياها من عنقود الى آخر وعندما يلتصق سبرم احد النمطين القرينين بالخيط الفطرى المستلم والناتىء من حافظة السبرمات للنمط القرين الآخر يندمج معه (شكل: 22_26). وتنشأ فتحة صغيرة تمر منها نواة السبرم داخلة الى الخيط الفطرى المستلم ، وتشق طريقها هابطة فيه الى ان تصل الى جزء الخيط الموجود فى الورقة . ويصاحب الهجرة هذه انقسام نووى يجرى فى الانوية المارة خلال مسام جدران الخيط الفطرى العرضية . يسبب غزو الخلايا الاساسية لمنشأ الكأس العنقودية بدء حالة ثنائية الانوية ، حيث يحدث التزاوج بين نوعين من الانوية ــ المحلية والغازية ــ فالعضو الواحد من كل زوج يعود الى نمط قرين مغاير . ويصبح جليا الآن ان وظيفة السبرم هى بدء حالة ثنائية الانوية فى دورة الحياة . لقد كشف عالم النبات الكندى كريجيه Graigie J.H. عام 1927 عن تباين الثالوس ووظيفة السبرم ، وكان اكتشافه بداية لابحاث كثيرة فى الموضوع .

لقد تم الآن تكوين سلاسل من السبورات الكأسية العنقودية الانوية (شكل 22_27ب) وتزيح سبورات الكؤوس العنقودية الخلايا شبه البرنشيمية لمنشأ الكأس العنقودية عن مكانها وتصبح محاطة بكأس سميكة الجدران ، ومن ثم تخترق البشرة الدنيا للورقة وتلفظ فى الهواء (شكل : 22_22 الى اليسار). وفى اعقاب الانبات على نبات من الحبوبيات او النجيليات تنتج سبورات الكؤوس العنقودية ثنائية الانوية خيوطا فطرية تخترق نسيج المضيف . **علما بان كل خلايا هذه الخيوط الفطرية تكون ثنائية الانوية . تتواصل هذه الحالة حتى نضوج السبور التليتى عند نهاية فصل النمو ، ومن ثم تندمج النواتان فى كل خلية . عند انبات السبور التليتى فى الربيع التالى تتعرض النواة ثنائية المجموعة الكروموسومية فى كل خلية لانقسام اختزالى ، ومن ثم تنشأ منها اربع انوية احادية المجموعة الكروموسومية . وتهاجر كل نواة الى احد السبورات البازيدية ونتيجة لانعزال العوامل الجنسية segregation of sex factors اثناء الانقسام الاختزالى يعود اثنان من السبورات البازيدية هذه الى السلالة الموجبة ، بينما يعود الآخران الى السالبة . يوضح الشكل (22_28) دورة الحياة الكاملة لفطر صدأ سواد الساق برسم تخطيطى . لقد اظهرت الدراسات الجارية على اكثر من 20 نوعا من فطريات الصدأ المتشابهة النشاطات الجنسية بنمطها العام .**

مقاومة فطر سواد الساق : *Control of black stem rust*

يظهر من دورة الحياة النمطية التى عرضناها فيما سبق أنها لاتكتمل إلا بوجود نبات البرباريس ولذا فإن انجح الطرق لمقاومة هذا المرض هى اجتثات شجيرات نبات المضيف البديل هذا حيثما وجد ، ويكون هذا المبدأ مطبقا بتوسع فى كل أمراض الصدأ حيث يوجد مضيفان نباتيان لاتتم دورة الحياة إلا بهما . إن القضاء على نبات البرباريس الشائع كوسيلة لمقاومة صدأ القمح قد طبقت الى حد ما فى اوروبا وأمريكا الشمالية حتى قبل أن يكون لدى علماء النبات البرهان الدامغ على أن المرض الذى يصيب البرباريس والصدأ الذى يصيب القمح ، قد سببهما نفس الفطر . وكان علينا الانتظار حتى عام 1865م كى يكشف عالم النبات الألمانى هينريخ دى بارى Heinrich Anton de Bary : الصلة التى تربط بين مرحلة الكأس العنقودية فى نبات البرباريس وبين المرحلتين اليوريدية uridial stage والتيليتية telial stage . ولكن الجهود الموحدة والمكثفة لم تبذل الا فى العصر الحديث من اجل اقتلاع نبات البرباريس من كل المناطق المجاورة لحقول القمح . وكان اولها فى التوفيق ماقامت به الولايات المتحدة عام 1918 نتيجة للخسائر الجسيمة فى محاصيل الحبوبيات اثناء الحرب العالمية الاولى . اذ قامت الوكالات الفدرالية وبمستوى الولاية الواحدة والمحلية فى (19) ولاية شمالية تحوى مايزيد عن مليون ميل مربع بالتعاون فيما بينها باقتلاع نبات البرباريس ، وقد تم اقتلاع ما يزيد عن 500 مليون شجيرة من هذا النبات منذ بداية الحملة عام 1918م حتى الآن .

وعلى الرغم من ان اوبئة سواد الساق قد قلت تدريجيا وبانتظام لحد ما سواء بالنسبة للعدد او بالنسبة لشدة الفتك ، وذلك عن طريق حملات اقتلاع البرباريس ، الا ان هذه الاوبئة لاتزال تحدث احيانا فالحبوبيات والنجيليات يمكن ان تصاب بالمرض من مصدرين محتملين-سبورات الكؤوس العنقودية النامية على البرباريس ، وكذلك السبورات اليوريدية . يمكن ان ينخفض كثيرا عدد سبورات الكؤوس العنقودية ، بل يمكن ان يقضى عليها تماما وذلك باقتلاع البرباريس . ففى شمال الولايات المتحدة وكندا لاتعيش السبورات اليوريدية عبر الشتاء ، بينما نجدها فى الولايات الجنوبية والمكسيك تنجو من الهلاك شتاء وذلك كى تواصل دورتها فى زراعات الحبوب والحشائش البرية على حد سواء . تحمل السبورات اليوريدية هذه فى الربيع بتيارات الحمل الهوائية الى اعلى وتتجه شمالا ومن ثم تنهال على حقول الحبوبيات مع المطر . ولحسن الحظ يندر فى المناطق الشمالية وقوع الطقس الدافىء والرطب وهى الشروط المشجعة لنمو الاوبئة الشديدة . كما تتمكن السبورات اليوريدية ان تعيش ايضا من فصل الى آخر اذا ما توفر لها الطقس المعتدل ونباتات الحنطة مثل ما فى استراليا والارجنتين ، ويكون البرباريس بذلك قليل الاهمية بالنسبة للدورة الحياتية .

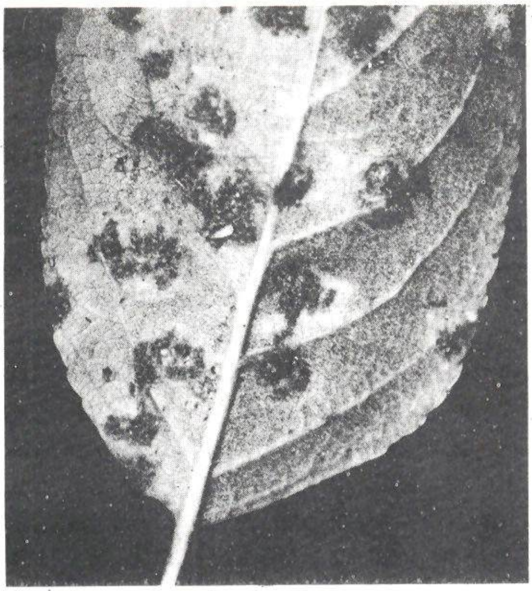
الاشكال الفسيولوجية *Physiologic races*

لاتصيب فطريات صدأ الساق ، القمح وحده بل تصيب النجيليات ايضا . ولهذا السبب قسم نوع الفطر (Puccinia graminis) الى سبعة اصناف سميت باسماء النبات ، المضيف الرئيسى . ويلاحظ ان احد هذه الاصناف يتخصص فى مهاجمة القمح بينما يتخصص آخر فى اصابة الشوفان وينفرد ثالث بمهاجمة الشليم . فى حين ان هناك اصنافا اخرى تتطفل على النجيليات البرية والمزروعة على حد سواء . ومن بين هذه الاصناف يوجد العديد من الاشكال الفسيولوجية Physiologic races or forms يختلف الشكل منها عن الآخر اساسا فى مدى تأثيره فى النبات المضيف . وتتعد هذه الاشكال لدرجة انها ترقم بدلا من تسميتها فعلى سبيل المثال نجد الصنف (Puccinia graminis var. tritici) الذى يهاجم اساسا القمح ، يمكن تقسيمه فرعيا الى اكثر من 300 شكل فسيولوجى . ولحسن الحظ فان مالا يزيد عن 12 شكلا منها فقط تسبب خسائر كبرى فى الولايات المتحدة سنويا . كما ان هناك ما يزيد عن 30 شكلا فسيولوجيا للصنف (Puccinia graminis , var . avenae) وتهاجم فى الاساس الشوفان وما يقارب 14 شكلا من صنف (Puccinia graminis var . secalis) تتخصص كلها فى مهاجمة الشليم . كما توجد اشكال فسيولوجية اخرى فى العديد من الاصناف ايضا وربما تشكل الغالبية العظمى من الفطريات الممرضة .

ان وجود الاشكال الفسيولوجية يعقد كثيرا استنباط

الاصناف المقاومة للمرض من القمح والشوفان وغيرهما من الحبوبيات والنجيليات . فهناك بعض الاشكال التى تسود منطقة بعينها ، بينما تتخصص اشكال اخرى فى منطقة مغايرة ، وبهذا يكون الصنف من القمح المقاوم للصدأ فى منطقة ما غير مقاوم له فى منطقة اخرى وهكذا . وبناء على ما سبق يتركز اهتمام المسئولين على الانتقاء اى على انتاج اصناف حبوبية تكون مقاومة لاغلب اهم اشكال فطريات الصدأ ، وذلك فى المنطقة التى تنمو فيها اصنافهم . وقد تظهر تعقيدات جديدة عندما تسود المنطقة اشكال لم تكن ذات اهمية فى الماضى او اشكال جديدة اساسا من فطريات الصدأ . ولنضرب مثلا على الحالة الاولى لشكل يسمى 15B ، كان يوصف بأنه اعتى اشكال صدأ الساق التى ظهرت فى امريكا الشمالية ، لقد تم التعرف عليه لاول مرة عام 1939 ، الا انه لم ينتشر عندئذ كى يسبب خسارة جسيمة حتى حلول عام 1950 . ففى هذا العام انتشر وباؤه فى الولايات المتحدة حيث ظهرت الاصابة به فى 16 ولاية ، ولقد هاجم آنذاك كل اصناف القمح المعروفة تجاريا فى الولايات المتحدة . ولقد ابرز إنتشار هذا الشكل ضرورة التهجين لاستنباط اصناف قمح جديدة مقاومة للصدأ .

يعتقد ان الاشكال الفسيولوجية لفطر صدأ الساق يكون منشؤها فى الغالب من التهجين اثناء نموها على المضيف البديل . اى نبات البرباريس . ومما سبق ذكره تتضح سمات تباين الثالوس فى فطر صدأ الساق . فهذا الشكل من اشكال التكاثر الجنسى ينشأ عنه التهجين ومن ثم اعادة توزيع جينات الابوين . وتكون تراتيب الجينات الناتجة resulting new combinations هى اصل النوع للاشكال الجديدة التى يمكنها ان تهاجم اصناف القمح التى كانت فى السابق مقاومة للصدأ . ويكون إقتلاع نبات البرباريس هاما بسبب ان هذه العملية لاتكتفى بالقضاء على النبات المضيف ايضا ولكنها ايضا تمنع تكون ونشوء اشكال فسيولوجية جديدة لفطر الصدأ . ومع ذلك فلا يكون تهجين الفطر الحادث على نبات البرباريس هو المصدر الوحيد للهجائن الفتاكة الجديدة من سلالات فطر الصدأ . ففى السنوات الاخيرة تم الكشف عن ان التهجين الجسمى somatic

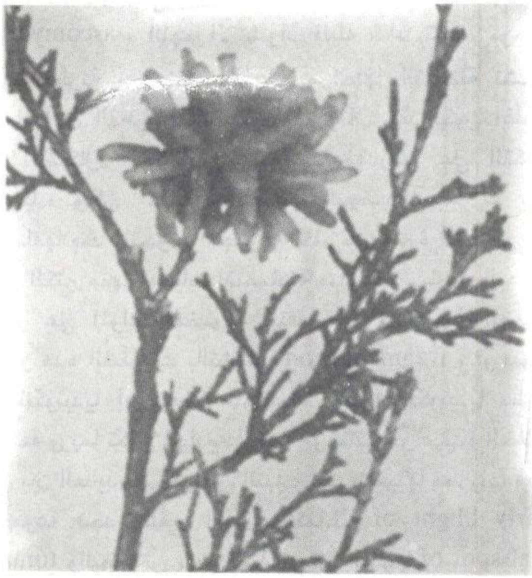


شكل (22ـ29) كؤوس عنقودية لفطر صدأ التفاح تعلو ورقة النبات .

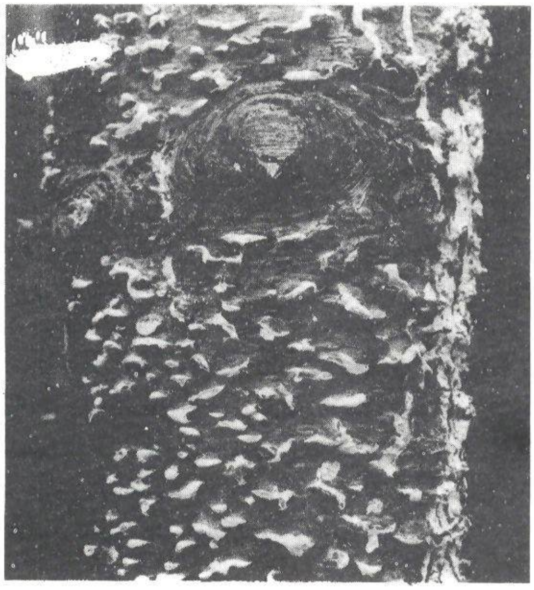
hybridization ربما يحدث على الحبوب او النجيل المضيف اثناء تكرار المرحلة اليوريدية . فالخيوط الفطرية ثنائية الانوية binucleate hyphae ، الناشئة عن السبورات اليوريدية من شكلين مختلفين فسيولوجيا لفطر الصدأ . ربما تندمج مع مايصاحب هذا من تبادل الانوية . تتطلب الآلية الفعلية للتهجين الجسمى المزيد من البحث والاستقصاء ، وذلك لانه ليس معلوما بالحد الكافى مدى تأثير هذا التهجين فى انشاء سلالات فتاكة جديدة .

فطريات الصدأ الاخرى ذات المضيف البديل : *Other rusts with alternate hosts*

علينا ان نستعرض جوانب معينة من دورة حياة فطرين آخرين من فطريات الصدأ . احدهما فطر صدأ الارز والتفاح cedar – apple rust (Gymnosporangium Juniperi – virginianae) الذى ينتج حافظات للسبرمات spermagonium ، وكذلك كؤوسا عنقودية على ورق شجرة التفاح (شكل 22ـ29) والنباتات المضيفة ذات القربى



شكل (22_30) فطر صدأ التفاح يعلو شجرة الارز. تراكيب شبه متضخمة قد أفرزت قرونا هلامية تحوى سبورات تيليتية.



شكل (22_31) قروح (مرحلة الكؤوس العنقودية) ناجمة عن مرض فطر صدأ الصنوبر الابيض (Cronartium ribicola) يعلو شجرة الصنوبر الابيض (Pinus strobus) white pine

related hosts . ولا تنجو الثمار من ذلك ايضا . تنقل سبورات الكؤوس العنقودية المتكونة على التفاح الى بعض اشجار الارز وخصوصا الارز الاحمر red cedar (Juniperus virginianae) التى تتكون عليها السبورات التيليتية ، ولاتحدث فى هذا النوع المرحلة اليوريدية ، وقبل ظهور السبورات التيليتية يتم تحفيز شجرة الارز لتكوين اورام كروية بنية ، تتراوح اقطارها من عدة ملليمترات الى 50 ملليمتر . وبعد هطول أمطار الربيع يخرج من هذه الاورام قرون هلامية (جيلاتينية) برتقالية اللون (شكل 22_30). تتألف من سبورات تيليتية معنقة وثنائية الخلايا (Teliospoers Two - Celled Stalked) وتنبت الاخيرة خلال بضعة ايام ومن ثم تنشأ البازيديومات وسبورات بازيدية ، بينما هى لاتزال مرتبطة بالقرون السبورية sporohornes . تحمل الرياح بعد ذلك السبورات البازيدية ومن ثم تنتقل العدوى الى اشجار التفاح والتفاح البرى . وبدون مرحلة تكرار يمكن تحطيم دورة الحياة عن طريق اقتلاع احد النباتات البديلة المضيفة والمعرضة للعدوى ، وذلك من المناطق المتاخمة (فى حدود الـ 5 كيلو متر) لزراعات المضيف البديل الآخر . وتسهل السيطرة على المرضى ايضا اذا مارشت اشجار التفاح بمبيد فطرى fungicide لمقاومة الصدأ ، وتوجد شتلات لاشجار التفاح والتفاح البرى والصنوبريات مقاومة للصدأ يمكن الحصول عليها من المشاتل .

تعتبر بثور الصنوبر الابيض white pine blister rust (شكل 22_31) من اقوى امراض الصدأ وافتكها من الوجهة الاقتصادية ، حيث تصيب الاشجار الابرية الصنوبرية فى الشمال الشرقى من امريكا وولايات البحيرات الكبرى وكذلك شمال غرب البلاد ـ وكل هذه المناطق تنتج اثمن الاخشاب الامريكية . ويكون المضيف البديل هو الزبيب (بدون بذور) currants ، بانواعه المزروعة والبرية على حد سواء وكذلك نبات الريباس gooseberries (Ribes) . تمنع اجراءات الحجر الزراعى غرس زراعات الزبيب الناقلة للمرض وكذلك الريباس فى المناطق التى ينمو فيها الصنوبر الابيض بكثافة اقتصادية تحمل التيارات الهوائية الكؤوس العنقودية من اشجار الصنوبر الى

شجيرات الزبيب والريباس ومن ثم تحمل التيارات الهوائية السبورات البازيدية من هذه النباتات الى اشجار الصنوبر . كما ان الكؤوس العنقودية الناشئة على اشجار الصنوبر تتمكن من الانتشار لمئات الكيلو مترات حتى تصل الى مضيفها البديل ، ولكن السبورات الناشئة على الزبيب البرى لاتعدى اشجار الصنوبر الا اذا كانت الاخيرة واقعة فى دائرة لايتعدى نصف قطرها 300 متر . وبذا يكون اقتلاع نباتات الزبيب والريباس وسيلة ناجحة للتحكم فى انتشار المرض . ومن هنا تظهر اهميتها فقط بالنسبة للمسافات القريبة من ناحية اشجار الصنوبر . وفى الوقت الحالى تمكنت طرق رش المساحات الشاسعة من غابات الاخشاب من الجو او الارض مبيد فطرى وبصورة دورية من القضاء على مرض بثور الصدأ فى مساحات كبيرة من شمال غرب امريكا .

يوضح الجدول (22ـ1) بعض الامثلة الاضافية من الاصناف العديدة لفطريات الصدأ متباينة المسكن heteroecious .

ascomycetes ، اللهم الا شواذ قليلة ، اذ تتمتع بوجود خيوط فطرية محجزة ، كما ان مراحلها الناقصة تشابه نظيراتها فى الفطريات الكيسية المعروفة . وقد يكون اغلبها من الاشكال المختزلة التى فقدت مقدرتها على التكاثر جنسيا ، ولكن المراحل الجنسية لبعضها ربما لم يتم اكتشافها بعد . تحوى المجموعة اكثر من عشرة آلاف نوع ، يكون للكثير منها اهميات اقتصادية مباشرة . ويترمم البعض الآخر على المواد العضوية المتفسخة وفى التربة ايضا . تتكاثر هذه الفطريات بالتشظى fragmentation ، او بنوع من الكونيديا او ببعض انواعها . تتكون الكونيديا بطرق مختلفة وربما تكون احادية الخلية او ثنائية او عديدة الخلايا ومن بين العديد من امراض النبات التى تسببها فطريات هذه المجموعة نجد اللفح المبكر للطماطم early blight of tomato والبطاطس ، وبرقشة اوراق البنجر leaf spot of beet ، وذبول العديد من النباتات ، والعفن الوردى للتفاح apple pink rot وبقع التفاح apple blotch وعفن ساق

جدول 22ـ1 بعض فطريات الصدأ متباينة المسكن

الاسم الشائع والمضيف الرئيس	المضيف البديل
صدأ الذرة	الحماض oxalis
فطريات صدأ الحور	اللاركس (لارقس) larch تنوب دوجلاس Douglas fir ونباتات مضيفة اخرى
صدأ الثمار الحجرية	بقلة الكبد hepatica وشقائق النعمان anemone وكزبرة الحبشة meadowrue Thalictrum، والحوذان buttercup
التنوب والتنوب الفضى لجنتا الساحرة witches broom of fir and spruce	حشيشة الدجاج chick weed
صدأ المران ash rust	نجيليات المستنقعات marsh and cord grasses
صدأ المغزلى الجنوبى يصيب الصنوبريات الصلدة hard pines	أنواع البلوط.. oaks

الفطريات الناقصة : Fungi Imperfecti

لاتوجد المرحلة التامة perfect stage فى الكثير من انواع الفطريات ، او انها غير معروفة ، ولذا جمعت هذه النباتات فى مجموعة سميت بالفطريات الناقصة . ومع ذلك فكل الفطريات الناقصة تكون فطريات كيسية فى الاصل

الذرة stalk rot of corn ومرض الفوحة (قنام) anthracnose الذى يصيب الفاصوليا والقرع وجوز البيكان (البقان) pecan وشجرة الجوز walnuts وعفن اوراق الطماطم leaf mold of tomato وجرب الخوخ peach scap والعفن الابيض الذى يصيب البصل white rot of onion .

الفطريات المهاجمة للانسان Fungi That Attack Man

تشكل الفطريات التى تسبب بعض امراض الانسان اهتماما خاصا . ويمكن تقسيم هذه الفطريات الى :(1) فطريات تسبب عدوى ظاهرية superficial infections (2) فطريات تسبب العدوى الشاملة (الجهازية) deep or systemic infections ، يكون للعديد من انواع الفطريات الناقصة دخل فى هذه الامراض . كما يكون المظهر المجهرى للفطر ، فى بعض الحالات ظاهرا بدرجة تكفى لتمييزه ، بينما يتطلب الامر عادة انماء الفطر فى مزرعة نقية لتشخيص المرض .

فطريات العدوى الظاهرية : *Superficial infections*

تشكل انواع العدوى هذه غالبية انواع العدوى الفطرية التى تصيب الانسان.ينتج اغلبها من النمو المتطفل لخيوط فطرية لمجموعة من الفطريات المتقاربة تسمى بفطريات القوباء الحلقية (من الامارض الجلدية المعدية) ring-worm fungi (Dermatophytes) ، وتسبب هذه الفطريات مرض القوباء الحلقية الذى يصيب فروة الرأس scalp فى الاطفال فى العادة وكذلك فى جلد الاظافر الرقيق وجلد اليدين والقدمين . وتعرف قوباء القدمين فى العادة باسم مرض اقدام الرياضيين athlete's foots يمكن لفطريات القوباء ان تنتج كونيديومات من نوعين : كونيديومات صغيرة او احادية الخلية . وسبورات كبيرة متعددة الخلايا (شكل 22ـ32). وتكون اساسا متطفلة على الانسان والحيوانات الاخرى . ولكنها قد تنمو ايضا مترممة على المواد العضوية غير الحية . ومن بين الحيوانات الاليفة التى تعيش فى الولايات المتحدة لوحظ اكبر اصابات المرض المذكور فى الجراء ، كما انه يصيب الخيول والقطط والكلاب ايضا ، وكذلك اعراف الدجاج والديكة الرومية .

يوجد نوع آخر من الامراض الظاهرية تسمى المبيّضات Candidasis، يمكن أن تصيب الجلد، ولكن الفطر المسبب له كانديدا مُبيِّض (Candida albicans)، يكون فى الاساس متطفلا على الغشاء المخاطى mucous membrane وهو مشهور بشكل خاص كسبب لمرض القُلاع thrush ويصيب الأغشية المخاطية للفم، ويصيب أساسا الاطفال حديثى الولادة. وكان هذا المرض شائعا للغاية فى الماضى، إذ يصل



تشكل (22ـ32) كونيديا متعددة الخلايا (كونيديا كبيرة) Macroconi-dia (Trichophyton mentagrophytes)

الى حد الامراض الوبائية ولكنه انحسر الان فى تردد ظهوره وفى قسوته ايضا.

فطريات الامراض الباطنية (تصيب الاعضاء الداخلية): *Systemic infections*

وتكون هذه الامراض عادة غير قابلة للنقل من شخص الى آخر على عكس الامراض الجلدية (الظاهرية) التى تكون معدية والكائنات الحية المسببة لها تنتشر كثيرا فى البيئات الطبيعية، وتعيش مترممة على الخضرة وفى التربة وتغزو جسم الانسان فى العادة عن طريق الاستنشاق أو من خلال الجروح الصغيرة التى تسببها الأشواك وقلامات الخشب الرفيعة Splinters. على الرغم من أن عدواها العميقة تكون غير شائعة، الا أنها تكون مزمنة فى العادة وفتاكة، وربما تؤدى الى الوفاة. وقد تعم العدوى جسم الانسان كله وقد تكون موضعية فى أجزاء خاصة منه، ويعتمد ذلك بالطبع على المرض نفسه. ومن بين الاعضاء والانسجة المتأثرة بهذه

الامراض نجد الدماغ (المخ) والنخاع الشوكى spinal cord. والانسجة الليمفاوية lymphatic tissues والكليتين والرئتين والكبد ونخاع العظام.

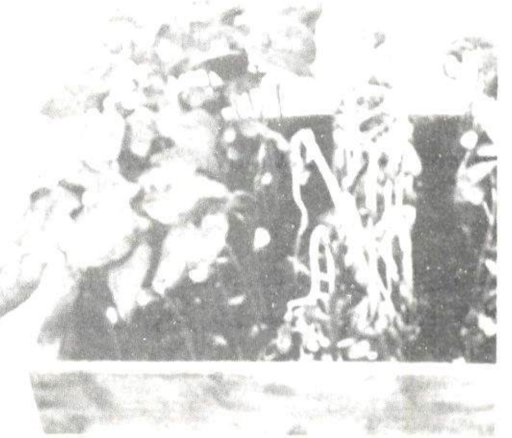
وتنتشر بعض الامراض الباطنية الناتجة عن هذه الفطريات مثل سبورات الكيس الخملى sporotrichosis، وداء المكورات الخفية Cryptococcosis ومرض الفطر البرعمى histoplasmosis، وهناك أمراض باطنية اخرى تسببها هذه الفطريات تكون محدودة الوقوع مثل الـ blastomycosis وحمى الوادى (فطر الكرويات) valley fever (Coccidioidomycosis) ومرض الفطر البرعمى، أحد الامراض الشائعة فى الولايات المتحدة والعالم. أما الفطر المسبب له وهو الهستوبلازما كبسولاتم (Histoplasma capsulatum) فيستطيع العيش متطفلا على كل من الانسان والحيوان، او يعيش مترمما فى التربة. ويكون وجوده فى شكلين مميزين مثله مثل غيره من الفطريات الممرضة. ففى طوره الطفيلى parasitic phase يقع فى الانسجة الحية، يكون الفطر خلايا تشبه الخميرة وتتكاثر بالتبرعم. أما فى المزارع النقية والتربة فيكون فى شكل يشبه العفن moldlike ومزودا بخيوط فطرية تحمل نوعين من الكونيديومات. لاينتقل المرض من مضيف الى آخر ولكن تتم العدوى باستنشاق أتربة ملوثة بالسبورات، التى تطايرت من التربة الغنية بمحتواها العضوى ويكون المرض خفيفا ولكنه ربما يؤدى الى الوفاة.

التحكم فى امراض النبات: Plant Disease Control

يعتبر التحكم فى الامراض النباتية أساس النجاح فى نمو معظم النباتات. فمن أجل التوصل الى تطويع طرق فعالة للتحكم فى مرض ما، يلزم قبل كل شىء تشخيص المرض بدقة، فاذا ماكان سبب المرض أحد الطفيليات يجب الوقوف على دورة حياة الطفيلى والظروف التى يترعرع فيها. وبالتسلح بهذه المعارف يتمكن اختصاصيو الامراض النباتية فى العادة من وضع يدهم على طور ما من اطوار حياة الطفيلى المسبب للمرض، ويسهل عليهم مهمة مكافحته. وهناك العديد من العوامل التى تكتسب أهمية كبرى فى التحكم فى الامراض النباتية نذكر منها توقيت ونمط العدوى، وطرق انتقال الفطر أو البكتريا او الفيروس، وطريقة الكائن الحى فى قضائه فترة المبيت الشتوى، وكذلك الظروف الجوية ذات الشأن وغير ذلك من العوامل.

ويمكن اتخاذ تاريخ استخدام النحاس فى التحكم فى الامراض النباتية مثالا تاريخيا لتصوير ضرورة الوقوف على تاريخ حياة الكائن الحى المسبب للمرض قبل الشروع فى اتخاذ تدابير التحكم فى المرض. ففى عام 1845، اثناء انتشار وباء اللفحة المتأخر للبطاطس فى اوروبا كتب العالم تشارلس مورن Charles Morren، وكان استاذا فى الزراعة فى جامعة ليغ Liege رسالة الى صحيفة فى بروكسل يعلن فيها أن الجير والاملاح البحرية اذا ما مزجت بكميات قليلة من كبريتات النحاس فانها تصلح لمقاومة مرض النخر. ومع عدم إلمام مورن بتاريخ حياة هذا الفطر فقد أوصى المزارعين باستخدام مسحوق مكون من خليط هذه المواد مضافا اليه بعض التربة التى كانت قد زرعت بنباتات مريضة. ولو كان قد أوصى برش أوراق النباتات السليمة بهذا المخلوط فلربما أدى ذلك الى السيطرة على الوباء ولاإستتبع ذلك انقاذ أرواح الآلاف من البشر.

تختلف الامراض النباتية من حيث حدوثها من سنة لاخرى ومن منطقة لاخرى كذلك، ويعتمد ذلك على: (1) البيئة المحيطة (وأساسا كمية هطول الامطار وطول فترتها) وكذلك الندى الكثيف والرطوبة النسبية، ودرجة الحرارة. (2) المقاومة النسبية التى تبديها النباتات المضيفة تجاه المرض، واخيرا (3) الكائن الحى الطفيلى، ولكى يستشرى المرض يجب ان تتوفر العوامل الثلاثة السابقة مع وجود التوازن بينها. فعلى سبيل المثال اذا كانت البيئة المحيطة مشجعة لاستشراء مرض ما ووجد فيها الكائن الحى المسبب له ولكن النبات المضيف كان حصينا (اى عالى المقاومة) فلن يتطور المرض، او يكون انتشاره ضئيلا على اسوأ تقدير. وبالمثل اذا حضر الطفيلى ولم يكن المضيف حصينا بينما لم تكن الظروف المحيطة مشجعة فلن يظهر المرض على الاطلاق. تكون العلاقات المذكورة اساس ثلاثة مبادىء عامة فى السيطرة على الامراض النباتية: (1) زيادة مقاومة النبات المعرض للمرض. (2) جعل البيئة المحيطة اقل ملاءمة لعيش الطفيلى، وعلى العكس جعلها اكثر ملاءمة لنمو المضيف، واخيرا (3) يقتل الكائن الحى المسبب للمرض او يمنع وصوله الى النبات لكى لايكون المرض. و نعرض فى الفقرات التالية بعض التطبيقات الشهيرة الاساسية.



شكل (22_33) فاصوليا ليما
(اليسار) صنف مقاوم للعفن الفطرى الزغبى كالفيتوفثورا (phytophthora phaseoli) النباتات الموجودة على يمين الصورة قتلها الفطر.

مقاومة المرض: Disease Resistance

إن تطوير أصناف أو هجائن نباتية مقاومة للامراض يعتبر من أهم طرق السيطرة على المرض. فاذا ماتم التوصل الى صنف أو هجين عالى المقاومة أو حصين immune، فان ضرورة اتخاذ تدابير السيطرة الاخرى تسقط عادة، وعلاوة على ذلك تعتبر التكاليف الابتدائية لاستنباط مثل هذا الصنف صغيرة بالمقارنة بتكاليف طرق السيطرة الاخرى. وهناك عدد من الامراض يمكن السيطرة عليها باستنباط اصناف حصينة فحسب. تتضمن قائمة نتائج الخلط والتهجين من أجل رفع درجة أنواع مقاومة الامراض الجديدة من نباتات الهليون asparagus وحنك السبع snapdragon والحبوبيات المقاومة للصدأ، والذرة الحلوة sweet corn والخيار cucumber والقرع squash والقرنفل carnation وكلها مقاومة للبياض الدقيقى powdery mildew وأصناف الفاصوليا والكرنب وقصب السكر والذرة والسبانخ المقاومة لمرض برقشة الاوراق mosaic واصناف البنجر والشمام muskmelon وفاصولية ليما والعنب والتبغ المقاومة للبياض الدقيقى (الزغبى) (شكل 22 ـ 33) وغيرها الكثير من الاصناف المقاومة للامراض من نباتات حقلية

ونباتات الحدائق والزينة. إن الزيادة فى قيمة انتاج المزارع الناجمة عن استغلال الاصناف المقاومة للامراض وهجائنها تصل الى مئات الملايين من الدولارات سنويا.

ولسوء الحظ، كما سبق أن أشرنا، تتمكن الفطريات والبكتريا والفيروسات من أن تكون أشكالا فسيولوجية جديدة تقدر على مهاجمة الاصناف التى كانت حصينة فى السابق. فشوفان كلينتون clinton يعتبر مثالا ناصعا على صنف الشوفان الذى تقرر الاستغناء عن زراعته بسبب ظهور اشكال جديدة من الصدأ التاجى crown rust، ظهر أنه ضعيف فى مقاومتها وعلى الرغم من أن ظهور مثل هذه الاشكال الفسيولوجية قد عقد من مشكلة استنباط اصناف حصينة جديدة الا أنه قد أحرز تقدما راسخا فى تقليص الخسائر الناجمة عن امراض النباتات وذلك باتباع الطريقة المبينة.

استخدام المزارع الغذائية: Cultural Practices

كثيرا مايمكن رفع درجة مقاومة النباتات للامراض عن طريق ضبط درجة خصوبة الارض soil fertility. إذ يصبح الكثير من الامراض أقل خطورة عندما يتواجد مستوى مناسب من العناصر الغذائية الاساسية فى منطقة الجذر، مما يضمن احداث نمو منتظم وثابت. وكثيرا ماتكون النباتات اكثر تعرضا للامراض عند ارتفاع نسبة النيتروجين بالمقارنة بالعوامل الاخرى وخصوصا فى ظل الطقس الحار والرطب. يؤدى النيتروجين الزائد عن الحد الى احداث نمو مورق وغض يكون اكثر تعرضا لهجمات الطفيليات الفطرية والبكتيرية والفيروسية.

يمكن جعل البيئة المحيطة اقل تفضيلا بالنسبة للطفيل واكثر تفضيلا بالنسبة للمضيف عن طريق تحسين التهوية. فترك المسافات البينية بين النباتات بالتقليم pruning، أو التخفيف thinning، وكذلك باستخدام معدل صحيح فى البذر او الغرس، يساعد على الاحتفاظ بجفاف الأوراق من الخارج ، ويقلل من تظليل النباتات لبعضها ، ويزيد نشاط النبات . تحتاج الفطريات ، عدا بعض الأعفان المسحوقية وأنواع أخرى معينة إلى رطوبة على سطح النبات

ولمدة تتراوح من 3 ـ 12 ساعة من أجل حدوث الانبات والعدوى . كما يكون للسيطرة على الحشائش دخل فى التقليل من المرض . فالحشائش هى مرتع خصب للأمراض والحشرات التى يمكنها نقل الأمراض البكتيرية والفيروسية ، كما تقلل التهوية ، وتنافس النبات على الماء وضوء الشمس والعناصر الغذائية الأساسية .

دورة المحاصيل : *Crop rotation*

يولد الكثير من أنواع الفطريات والبكتريا الناقلة للمرض فى التربة . وربما تستمر فى البقاء مترممة فى التربة لسنة أو لعدة أعوام ، وبذا يكون النمو المستمر لنفس المحصول أو المحاصيل ذات القربى به سببا شائعا فى انتاج عدد متزايد من هذه الرميات فى التربة . يمكن التحكم فى مثل هذه الظروف عن طريق تطبيق الدورات الزراعية التى تطول من 3 ـ 4 أعوام ويكون من شأنها « تجويع » الكثير من هذه الكائنات الحية التى تسبب الأمراض فى المجموع الخضرى للنبات أو أجزائه الترابية ، حتى تموت . ومع ذلك فلا تأتى هذه الدورات الزراعية دائما بنتائجها المرجوة من السيطرة على الكائنات الحية الناقلة للمرض والمولودة فى التربة ، بسبب احتمال أن تكون الأخيرة من بين الكائنات الحية التى تعيش عادة فى التربة أو أن تكون ذات قدرة على البقاء لعشرة أعوام أو أكثر (مثلما هى الحال فى الجذور الصولجانية للعائلة الصليبية club root of crucifers) وبهذا لا يظهر تأثير للدورة الزراعية . يمكن للحشائش مثلها مثل نباتات المحاصيل أن تكون معرضة لأمراض المحاصيل التى تسببها الكائنات الحية ، وبذلك تحمل الأمراض عبر الدورة الزراعية حتى ولو لم تكن هذه الدورة تحوى محاصيل غير معرضة للأمراض .

الوقاية الصحية : *Sanitation*

تعتبر العناية بجمع وحرق ودفن المواد النباتية المصابة بالامراض أو تحليلها احدى أنجح الوسائل الرامية للسيطرة على أمراض النبات فى نطاق المزارع الصغيرة وحدائق المنازل . كما تمارس طرق مماثلة للوقاية الصحية بتوسع من قبل العاملين فى مجال العناية بالنبات ورجال المشاتل وزراع الاركيدات والخضروات ورجال الغابات . يمكن كسر حدة الكثير من الأمراض على أقل تقدير بتطبيق أساليب صحية بسيطة .

اقتلاع البدائل المضيفة من النباتات : *Eradication of alternate hosts*

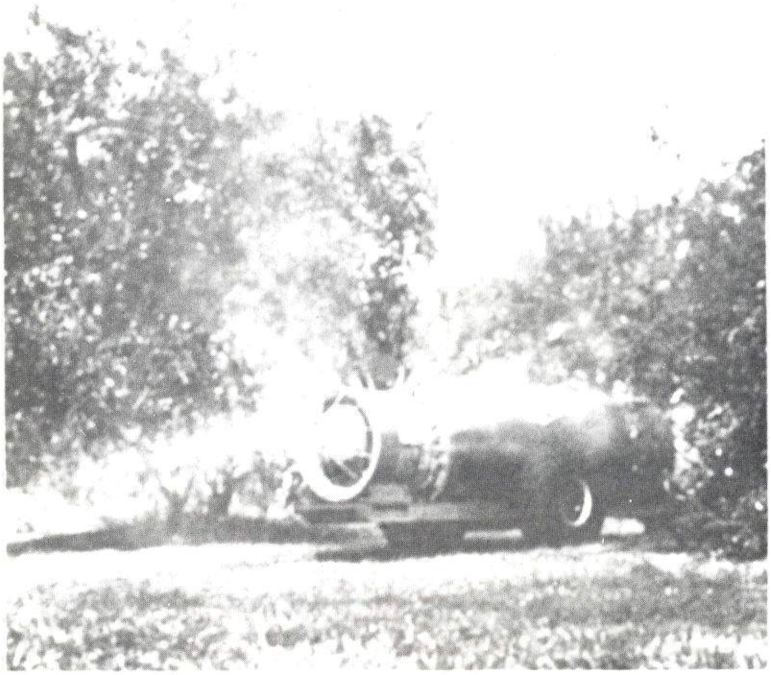
إن القضاء على النباتات المضيفة التبادلية يعتبر وسيلة للسيطرة على مختلف أمراض الصدأ ولقد تعرضنا لذلك فى هذا الفصل .

الحجر الزراعى : *Quarantines*

إن غالبية الآفات الزراعية والحشرات الضارة بالنبات والأمراض النباتية مثل آفة دودة القطن cotton boll weevil وذبابة الفاكهة mediterranian fruit fly وعثة الغجر gypsy moth والخنفساء اليابانية Japanese beetle ولفحة (آفة) القسطل chestnut blight وبثور الصنوبر الأبيض white pine blister rust وشرخ الموالح citrus canker (قضى عليه حاليا) ، ومرض الدردار الهولندى ، قد حلت جميعها بالولايات المتحدة من دول أخرى . ولو لم تقم الدولة بتقييد دخولها بالطرق المختلفة لكانت قد وقعت اصابات بأمراض أخرى على غير ذلك من النباتات ذات المصدر الخارجي ، ولكلف هذا الولايات المتحدة مبالغ طائلة من جراء هبوط الانتاج وزيادة الانفاق للسيطرة على هذه الآفات . ولهذا السبب أصدرت الحكومة القانون الفدرالى للحجر الزراعى فى عام 1912 ، وذلك لوقاية الزراعة الامريكية من مثل هذه الأعداء . ويحظر هذا القانون وبنوده دخول التربة والنباتات والمنتجات النباتية أو أجزاء النبات مثل الشتلات وأجزاء التطعيم والبذور أو الفواكه التى يمكن أن تكون مرتعا لكائنات حية ضارة مثل البكتريا والفطريات والفيروسات والديدان الخيطية nematodes والحشرات وغير ذلك من الآفات . لقد وقف الحجر الزراعى حائلا أمام انتشار أعداد كبيرة من آفات النبات وأمراضه ، وذلك بمجهود مفتشى الحجر الزراعى سنويا . كما توجد اجراءات الحجر الزراعى بين بعض الولايات الامريكية أيضا مثل كاليفورنيا وأريزونا وفلوريدا .

طرق السيطرة الكيمائية : *Chemical controls*

تعتبر المبيدات الفطرية fungicides والبكتيرية bactericides من المساعدات الكيمائية والفيزيائية على قتل أو تثبيط نمو الفطريات والبكتريا . وبعضها لا عضوى مثل الكبريت والمركبات الكيمائية التى تحوى الزئبق والنحاس أو الزنك ، ومع ذلك فلقد خلق الكيميائيون اصطناعيا فى السنوات الأخيرة مضيفا host يتألف من مركبات عضوية اكتشفت فعاليته القوية بالمقارنة بالمبيدات الفطرية السابقة ، وذلك فى مجال السيطرة على أمراض النبات . ومركباته معقدة يعرفها الرجل العادى تحت أسماء تجارية لا تهمنا هنا . وتتفاوت آلية فعلها ، غير أن المبيد الفطرى أو البكتيرى يخترق فى عدد من الحالات سيتوبلازم الخلية البكتيرية أو سبور الفطر أو الأنبوبة الجرثومية (انبوبة الانبات) germtube . ومن ثم يتدخل فى فعل منظومات انزيمية معينة . تستخدم المبيدات الفطرية والبكترية لوقاية النبات عن طريق ايقاف الفطر أو البكتريا قبل أن يرسخا أقدامهما داخل النبات ، ولاقتلاع الكائنات الحية المسببة للمرض التى لم تتمكن من التغلغل بعمق فى النبات ، أو لقتل الكائنات الحية المنتشرة فى النبات كله . ويسمى هذا الأسلوب بالمعالجة الكيميائية chemotherapy .



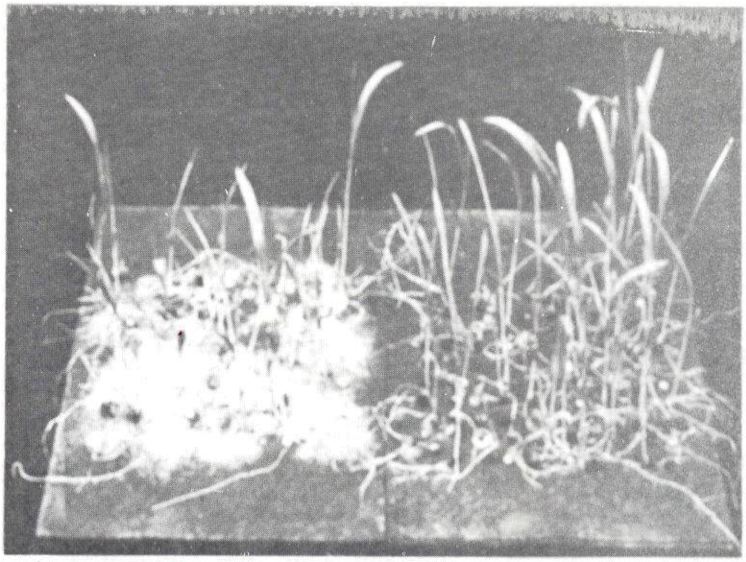
شكل (22_34) رش أشجار التفاح ((apple (Pyrus malus وذلك لكبح الآفات الفطرية والحشرية.

الرش والتعفير : Sprays and Dusts

معظم المبيدات الفطرية وقائية فى طبيعتها وتطبق عادة فى صورة رش أو تعفير (شكل 22 ـ 34) ، على فترات تتراوح بين 3 ـ 14 يوما قبل وصول السبورات الفطرية يتم تحطيم السبور أو الأنبوبة الجرثومية النامية منه بفعل المبيد الفطرى ، ومن هنا تمنع العدوى . أما إذا كان المتطفل قد غزا مضيفه فلا يكون عندئذ للرش أو التعفير أثر البتة أو يكون ضئيلا . هناك القليل من الاستثناءات ، سوف نذكرها لاحقا ، ولكن هذه الحقيقة صحيحة على وجه العموم بالنسبة للأمراض الموجودة داخل المضيف . وموضوع مرض النبات المذكور يسبب خطأ فى فهم الرجل العادى الذى عندما يلاحظ أعراض مرض على بعض نباتات الظل أو الحديقة يتساءل « ماذا على أن أفعل ؟ » ويكون المرض فى ذلك الحين قد استفحل بدرجة لا يمكن عندها عمل شىء ما لانقاذ النبات . ولكن استخدام مبيد فطرى واق يستطيع عادة منع انتقال العدوى من جزء فى النبات إلى جزء آخر منه ، أو إلى نباتات صحيحة مجاورة .

معالجة البذور : Seed Treatment

كما سبق أن أشرنا سابقا (فصل ـ 13) تكون أكثر مراحل دورة حياة النبات حساسية بالنسبة للأمراض هى مرحلة الانبات من بدايتها وحتى ظهور البادرات seedlings كنبات مستقل . فأثناء هذه الفترة تكون أنسجة البادرات سريعة النمو وسهلة المنال من قبل الفطريات المعادية . وربما تتحلل البذور عند زرعها وتكون البادرات معرضة لفطريات عفن الجذر ومن ثم احباط نموها damping – off حيث تموت البادرات قبيل بزوغها من الأرض ، أو فى أعقابه مباشرة . ويكون مصدر العدوى هى سبورات توجد مع غزل فطرى على



شكل (22ـ35) معالجة بذور الذرة البيضاء sorghum (Surghum vulgare)
(اليسار) بذور عولجت بمبيد فطرى.
(اليمين) بذور غير معالجة.
لاحظ ان البذور مغطاة بنموات فطرية.

البذرة ، وكذلك فى الفطريات المسببة للمرض التى تعيش فى الارض . يمكن تحطيم هذه السبورات والغزل الفطرى ، أو حماية البذرة وبادرتها من فتك فطريات التربة وذلك بواسطة تغطية البذور قبل زرعها بمبيد فطرى (شكل 22 ـ 35) ، تعامل أصناف عديدة من الخضروات وبذور المحاصيل الحقلية بمعالجات من هذا القبيل قبل بيعها للزراع .

معالجة التربة : Soil Treatment

يمكن أيضا حماية النباتات من آفات التربة بواسطة معالجة الأخيرة قبل بذرها بواسطة مركبات مبيدة للفطريات توزع فى التربة فى صورة غازية أو سائلة أو صلبة ويمكن حقن هذه المركبات أو خلطها مع التربة أو فرشها على سطح التربة ومن ثم رى التربة لتغذيتها بمحاليل هذه المركبات . كما يمكن تعقيم كميات صغيرة من التربة بتسخينها فى أفران حتى 71م° ولمدة ساعة . كثيرا ما يلجأ المزارعون إلى استعمال البخار أو الكهرباء أو التسخين الجاف أو التطهير بالتدخين وذلك لتربة الأصص والبيوت الزجاجية ولأحواض الانبات فى الهواء الطلق ، حيث تنبت البادرات قبل نقلها إلى الحقول فى المرحلة التالية .

الاجتثاث بالمبيدات الفطرية : Eradicant Fungicides

تستخدم هذه المواد فى صورة سوائل لرش اوراق النبات ومعالجة البذور على حد سواء او سطح التربة لقتل الطفيليات بعد ان تكون قد اخترقت النبات المضيف وترسبت فيه . وعلى سبيل المثال تستخدم بعض هذه المبيدات الفطرية من قبل زارعى التفاح لاجتثاث فطر مرض جرب التفاح ، لتقليل الضرر فى مدة لا تتجاوز 5 ايام بعد بدء العدوى . ويمكن لبعض طرق معالجة البذور ان تبيد وتحطم الكائنات الحية الموجودة داخل الغلاف البذرى ، كما يمكن ابادة الفطريات المرضة (المسببة للمرض) من البصل والكورمات والدرنات السابتة ، وكذلك اعضاء تكاثر النبات الاخرى . وتنمو تعفنات البياض الدقيقى على سطح المضيف باثة فى ذلك ممصاتها الى الخلايا تحت الغلاف ، وحيث يكون الفطر خارجيا الى حد كبير ويكون للمبيد الفطرى الواقى المزود على سطح الورقة اثره الاجتثاثى ايضا . كما ان التخلص من النسيج المصاب من على السطح المتفسخ او المقرح فى الاشجار يمكن ان يعتبر طريقة لاجتثاث المرض . ونظريا يجب الاستمرار فى التخلص من المواد المصابة حتى الوصول الى الخشب السليم ، اما من الناحية العملية فيكون من المتعذر تقرير مدى تغلغل عامل المرض فى الخشب ما لم تكن هناك من علاماته الظاهرة ما يكفى لتقرير ذلك (مثل تغير لون الخشب وما الى ذلك) . وبعد التخلص من الخشب المريض يستخدم سائل او مادة للتعقيم ومن ثم طلاء الجرح بمادة واقية لتغطية السطح العارى فى سبيل منع حدوث اصابة جديدة . ونلاحظ من المناقشة السابقة عدم سهولة التعرف بوضوح على الفرق بين الوقاية والاجتثاث من الناحية العملية فى كل الاحوال .

العلاج الكيميائى : Chemotherapy

يدخل فى هذه الطريقة للتحكم فى انتشار المرض معالجة النباتات المريضة باستخدام مبيد فطرى (او بكتيرى) باطنى

Systemic ، يمكن تنقله داخل المضيف كله . ويستطيع مثل هذا المركب ان يمنع تكاثر الفطر الممرض ويثبط نموه او يعادل توكسيناته (سمومه) Toxins كما يمكن ان يظهر مفعوله فى كل من الفطريات الممرضة الغازية والمستوطنة Invading and established Pathogens . لقد اختبرت الكثير من المركبات بما فى ذلك المضادات الحيوية ومنها الستربتومايسن Streptomycin والكلوهيكسيمايد Cycloheximide والجريسيوفولفين Griseofulvin يمكن استخدام هذه المركبات بالتعفير (للمساحيق) او الرش (للسوائل) وكذلك فى التربة ، وكثيرا ما تكون سمية Toxicity المبيد الفطرى الباطنى بالنسبة للمضيف من المشكلات القائمة . ومن هذا يصبح عدد الامراض التى يمكن السيطرة عليها باستخدام المركبات المذكورة استخداما تجاريا عددا قليلا نسبياً .

ولا يزال الكثير من المعضلات قائما حتى الآن على الرغم من الانجازات الكبيرة التى حققها الاختصاصيون فى امراض النبات . ويمكننا القول ان الاجيال القادمة من المتخصصين فى امراض النبات والتهجين والانتقاء عليها ان توجد الحلول لما ذكرنا من معضلات .

الخلاصة : Summary

1- تضم الفطريات البازيدية اكبر مجاميع الفطريات وكذلك تلك الفطريات التى تحوز اكبر اهتمام عام . وتتمتع هذه الفطريات بخيوط فطرية محجوزة وبسبورات غير متحركة ، يسمى سبور المرحلة التامة بالسبور البازيدى ، لبعض هذه الفطريات اجسام ثمرية كبيرة ولحمية ، بينما لايكون البعض الآخر اجساما ثمرية ومثالها فطريات الصدأ والتفحم . وتعتبر الفطريات الخيشومية والمسامية والمرجانية والنفاثة وكذلك فطريات القرن النتن امثلة على الفطريات البازيدية ذات الاجسام الثمرية الظاهرة .

2- تتولد البازيديومات فى الفطريات الخيشومية على سطوح الخياشيم ، وهى تراكيب فطرية تظللها قبعة لحمية . وتضم هذه الفطريات غالبية الانواع التى تؤكل والسامة على حد سواء . وتوجد اختبارات عامة تمكن الفرد العادى من التفريق بين الانواع التى تؤكل والسامة .

3- يتألف النموذج العام لدورة الحياة من العناصر التالية : (أ) سبورات بازيدية من نمطين قرينين مختلفين تنبت وتكون خيوطا فطرية ، (ب) تندمج الخيوط الفطرية وتظهر ثنائية الانوية التى تستوطن معظم دورة الحياة بما فى ذلك الاجسام الثمرية ، (جـ) حدوث اندماج ثنائيات الانوية فى البازيديوم مما يؤدى الى ظهور الانوية الثنائية المجموعة الكروموسومية ، وهى الوحيدة فى كل دورة الحياة ، (د) حدوث الانقسام الاختزالى فى البازيديوم مع تكون 4 سبورات بازيدية (اى السبورات الاختزالية).

4- تكون الفطريات المسامية اما متطفلة او مترممة على الاشجار الحية او الميتة على حد سواء وتكون هذه الفطريات حولية او معمرة . وتولد السبورات على جوانب الانابيب مفتوحة على الهواء بمسام ، وتعتبر الفطريات المسامية اهم العوامل المساعدة على تفسخ الخشب .

5- تكون الفطريات المرجانية من النوع المترمم ، وتنمو فى التربة الغنية او فى الخشب المتفسخ ، والفطريات النفاثة يمكن اكلها ، وتزود بغمد فردى او مزدوج يحيط بالسبورات . ويجذب فطر القرن النتن انتباه حشرات الرمم ، التى تتولى توزيع سبورات الفطر .

6- يكون السبور التليتى هو السبور الظاهر فى حالة فطر التفحم . وبعد انبات هذا السبور ينشأ عنه بازيديوم طويل ، يكون بدوره السبورات البازيدية ، ويحفز النبات المضيف بانتاج نموات شبه سرطانية تتألف من السبورات التليتية وانسجة المضيف .

7- يعتبر فطر الصدأ ذاتى المسكن Autoecious اذ لم تكن دورة حياته تتطلب اكثر من مضيف واحد ، اما اذا تطلبت دورة الحياة مضيفين من نوعين مختلفين فيسمى الفطر بمتباين المسكن .

8- ينتج فطر صدأ سواد الساق خمسة انواع من السبورات . وينشأ اثنان منها هما سبورات الكؤوس العنقودية والسبرمات على نبات البرباريس ، وينشأ نوعان آخران من السبورات هما السبورات اليوريدية والسبورات التيليتية على نبات القمح او غيره من النجيليات . وينمو

السبور البازيدى من البازيديوم ولا ينتج على اى مضيف .

9- يعتبر فطر صدأ سواد الساق متباين الثالوس . وتكون سبوراته البازيدية من سلالتين - سالبة وموجبة تسبب عدوى ورقة البرباريس باحد النوعين المذكورين تكوين حوافظ للسبرمات على السطح الاعلى من الورقة وكذلك تكوين كؤوس عنقودية غير ناضجة فى الانسجة القريبة من السطح السفلى . واذا ما حملت السبرمات من احدى حوافظها فى واحدة من السلالتين الى حافظة سبرمات فى السلالة الاخرى ، فان الكؤوس العنقودية المصاحبة تنضج وتنتج الكؤوس العنقودية الثنائية الانوية .

10- تحمل سبورات الكؤوس العنقودية الى احد النباتات الحبوبية او النجيلية حيث تسبب بداية مرحلة الصدأ الاحمر ويعقب ظهور اليوريد وسبورات لهذه المرحلة ظهور التيليوسبورات ثنائية الخلايا العائدة لمرحلة الصدأ الاسود . وعندما تنضج السبورات التيلتية تندمج النواتان فى كل خلية ، وعندما ينبت السبور التيليتى تتعرض خلية الاندماج لانقسام اختزالى وتنتج كل خلية بازيديومات وسبورات بازيدية .

11- يكون اقتلاع نبات البرباريس فعالا كوسيلة للتحكم فى انتشار صدأ الساق ، ليس فقط بسبب انه يقضى على سبورات الكؤوس العنقودية ولكن ايضا لانه يمنع الى حد كبير عملية التهجين ونشوء اشكال فسيولوجية جديدة . ومع ذلك فيمكن ان يقع مرض صدأ الساق حتى فى غياب نبات البرباريس اذا ما نقلت بالتيارات الهوائية شمالا . السبورات اليوريدية التى قد مرت بمبيت شتوى فى المناطق الجنوبية .

12- من بين فطريات الصدأ متباينة المسكن الهامة نجد تلك التى تصيب اشجار التفاح ويكون المضيف البديل فى هذه الحالة هو الصنوبر الاحمر اساسا ، وفطر بثور الصنوبر الابيض ، حيث تكون نباتات الزبيب او الريباس هما المضيفان البديلان .

13- تتكاثر الفطريات الناقصة عادة بالكونيديا ، وتخلو هذه الفطريات من المرحلة التامة ، على حد علمنا . ومن بين ما تتضمنه هذه المجموعة توجد اشكال عديدة تسبب امراض النبات جنبا الى جنب مع اغلب الفطريات المسئولة عن امراض الانسان الجلدية والباطنية .

14- تتضمن مبادىء التحكم فى امراض النبات التالى : (1) تنمية مقاومة النبات للمرض ، اما عن طريق الخلط او بممارسة اللجوء الى المزارع الغذائية لتحسين خصوبة الارض ، (2) تحسين البيئة المحيطة بجعلها اقل ملاءمة لعيش الطفيلى واكثر ملاءمة للنبات المضيف ، ومثال ذلك فى تحسين تهوية النباتات والتحكم فى الحشائش ، (3) قتل الطفيلى او منعه من الوصول الى المضيف وامراضه وتتضمن هذه الفئة الدورات الزراعية والوقاية الصحية واجتثاث النباتات البديلة المضيفة واجراءات الحجر الزراعى واستخدام المبيدات الفطرية والبكتيرية وكذلك سوائل الرش الوقائى والتعفير الوقائى ، بجانب معالجات التربة والبذور .

الكبديات والحزازيات

The Liverworts and the Mosses


23

الكبديات والحزازيات
The Liverworts and the Mosses

يميل الناس إلى اطلاق اسم "الحزازيات" على كل نبات ينمو فى التربة او فوق الصخور او فى الأشجار او حتى فى الماء . يتعرف اختصاصيو النبات على مثل هذه النموات ، مع ذلك ، على انها طحالب algae وكبديات liverworts وحزازيات mosses واشنات lichens او حتى نباتات زهرية flowering plants ، اعتمادا على تراكيبها وحتى تلك النباتات التى تحمل الاسم الشائع "حزاز" ، قد لاتكون من الحزازيات على الاطلاق . إذ يعود حزاز البحر sea moss إلى الطحالب الحمراء . بينما يعود حزاز ايسلاندا Iceland moss إلى الاشنات ، وكذلك الحال بالنسبة لحزاز الرنة reindeer moss . كما ان الحزاز الاسبانى Spanish moss ماهو الا من نباتات مغطاة البذور angoisperms ، اما الحزازيات الصولجانية club mosses فلا تمت بصلة إلى الحزازيات ، هذا مع العلم بان الكبديات والحزازيات الحقيقية true mosses هى من المجاميع الكبيرة والشديدة التباين والشيقة فى نفس الوقت . وتعيش على كل من التربة والصخور والاخشاب وفى الماء أحيانا .

يوجد العديد من الدلائل المعضدة للاعتقاد بان الاشكال الارضية من حياة النبات هى اخلاف لنباتات شبه طحلبية نمت وترعرعت فى بحار ماقبل التاريخ . ولاتعرف إلى حد الآن طبيعة مثل هذه الاسلاف الطحلبية ويحتمل ان تكون من الطحالب الخضراء green algae ، بل وربما كانت مشابهة لأنواع بعينها تعيش الآن فى الماء العذب وعلى طول سواحل المحيطات . اما اخلاف هذه النباتات ، فعلى طريق هجرتها من الماء إلى الارض ، قد تطورت على طول مسارين مختلفين . اذ نجد ان مجموعة من النباتات الأرضية البدائية قد كونت لنفسها نظاما من خلايا التوصيل conducting cells والدعم supporting cells اى المنظومة الوعائية vascular system . وفى المسار الثانى من التطور انتفى وجود مثل هذه الخلايا المتخصصة فى الدعم والتوصيل . وبقيت نباتات هذه المجموعة على حالتها الاولى صغيرة وغيرظاهرة . ولخلوها من الانسجة الناقلة للغذاء والماء والاملاح المعدنية الضرورية لاى ـ مسافة كانت وخلوها ايضا من الخلايا المتخصصة فى الدعم لايكون لمثل هذه النباتات حجم يذكر .

ان نباتات العصر الحالى التى هى نتاج تطور المسار الثانى وهى الكبديات liverworts وقرنيات الورت hornworts والحزازيات mosses ، وتلقب مجموعيا بقسم الحزازيات bryophytes . ومن المحتمل ان هذه النباتات قد تعرضت لتغيرات مرموقة منذ غزت النباتات الأرض . ولكنها مع ذلك وبقدر علمنا ، ليست اسلافا للنباتات المعقدة الحديثة ، ومن هذا المنطلق نجدها قد اتخذت مسارا مسدودا من مسارات التطور .

ومـع ان أفراد الكبـديات والحـزازيـات لاتكـون بـارزة فى العادة ، إلا انها تصبـح ملحوظـة بل وجـذابة عنـدما تنمـو فى تجمعات كبيرة . وعلى وجه العموم لاتكون هذه النباتـات مكيفة لظروف الحياة على الأرض ، كما أن الجـزء الأكبر منهـا يكون من نباتات الرطوبة والظل . ومع ذلك فهناك انواع معينـة منها وخصوصا الحزازيات تقدر على العيش فى فترات الجفاف ، ثم يتجدد النمو عندما تتوفر الرطوبة .

يتبـع افـراد قسم الحـزازيـات نفس نمط دورة الحيـاة الموجودة فى الطحـالب ، والذى يستمـر فى النباتـات الزهـرية ايضـا . إذ يتعاقب طـوران فى دورة الحياة : الجيـل المشيجى gametophyte generation مع الجـيل السـبورى sporophyte generation ، الا ان هـذا النمط يخالف مـاهو موجود فى النباتات الزهرية فى كون ان جسم نباته يعود إلى جيل الطـور المشيجى ويكون مستقـلا كما يصبـح السمة السـائدة لدورة حياة النبات . ويكون جيل الطور السبورى اقل بـروزا فى العادة ومرتبطا بالطور المشيجى دائما ، ولايسلـك ابدا مسلـك الحيـاة المستقلـة ، عـلى الـرغم من احتمـال انتـاجـه لبعض الغذاء .

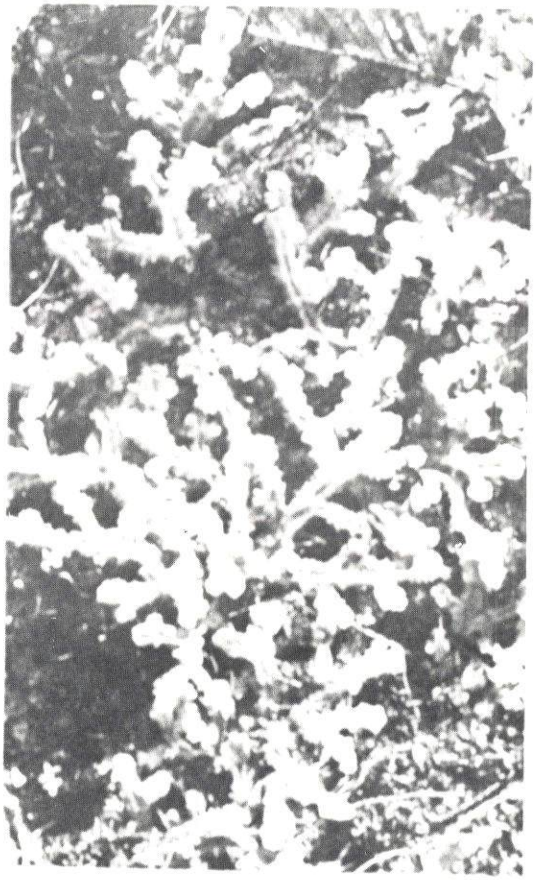
علاوة على سمات خضرية معينة تبرز تخصصا اكبر يسـود التركيب الداخـلى وبشكل الجسم ، ويختلف قسم الحـزازيات على اسلافـه الطحلبية الاكثـر بدائيـة فى شيئين هـامين : (1) تكون اعضاؤه الجنسية ونعنى الارشيجونـات (اى حامـلات البيضة) archegonia والانثريـديا (اى اعضـاء التذكـير) antheridia ، التى تحتوى على البويضات eggs والسبـرمات sperms ، متعـددة الخـلايـا ؛ (2) وبعـد الاخصـاب تحتفظ الارشيجونة بداخلها بـالجنين كمـا أن الطور السبـورى الفتى يكون لوقت معلـوم محفوفـا ومعضدا من قبـل انسجة النبـات الأم .

يكون العديد من أنواع قسم الحزازيات متجانس الثالـوس حيث يحوى كلا من نوعى الأعضاء الجنسية على نفس الطـور المشيجى الواحد . كما يكون البعض الآخر متباين الثـالوس ، ويـوجد نـوعـا الأعضـاء الجنسيـة عـلى طـورين مشيجيـين مختلفين . ويكون انفصال العوامل الجنسية segregation of sex factors فى حالة تباين الثالـوس موجـودا اثناء الانقسـام الاختـزالى ؛ إذ ينتج سبـوران اثنان من كـل رباعيـة طـورين مشيجين مذكرين ، بينما ينتج سبورا الرباعية الآخران طورين مشيجيين انثويين gametophyte female وفى بعض الأنواع تم التعرف على زوج من الكروموسومات الجنسية pair of sex chromosomes .

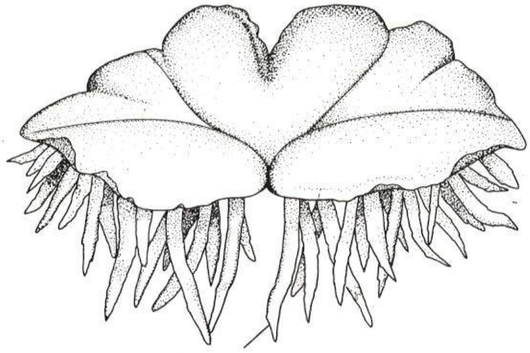
الكبديات : The Liver worts (Hepaticae)

لقـد تم الى حد الآن التعـرف عـلى حـوالى 8000 نـوع من الكبديات . وغـالبيتها من نبـاتات البيئـات الرطبـة ، ولاتكون بارزة إلا فى حالة وجودهـا فى تجمعات كبـيرة ولذا يخطئهـا نظر حتى المتفحص وكـذلك يخلط بينهـا وبين الحـزازيات فى حـالة وجودها ، وذلك بسبب أن غالبية الكبديات تشبه الحزازيات فى مظهرها الخارجى . فكلها تنمو ممتدة او مـايقرب من ذلـك على الأرض او على قلف الاشجار ، او على الخشب المتعطن . وكثيرا مـاترى تعلـو الصخور الـرطبة والتـربة الـرطبة عـلى جوانب الجـداول التى تخترق بعض الغـابات . واغلب الكبـديـات من نباتات اليابسة امـا انواعهـا المائيـة القليلة فتكـون ثنائيـة فى مائيتها ؛ ونعنى بذلك انها من النباتـات الأرضية التى اعـادت تكيفها مع البيئات المائية ، التى كانت تعيش فيها اسلافها .

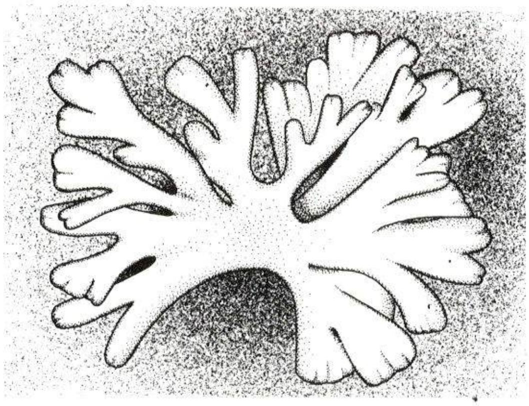
وتقسم الكبديات عادة إلى مجموعتين : المجموعـة الكبديـة الثـالـوسيـة thallose liverworts (شكـل : 23 ـ 1) ؛ ومجموعة الكبديات الورقية leafy liverworts . ويكـون شكل جسم النبات فى المجموعتين ظهريـا بطنيا dorsiventral ، اى ان جسم النبات متمايز إلى قسمين العلوى أو الظهرى Upper (or dorsal) والسطـح السفـلى او البطنـى Lower (or ventral) . تولد الأعضاء الجنسية فوق السطح العلوى ، كما يكون الجسم . النامى قريبا من التربة ومتصـلا بها بـواسطة تراكيب عديدة شبه خيطية هى أشباه الجـذور التى تشابـه فى وظيفتها الشعيرات الجذرية . ويمتلك جسم النبات الواحد من الكبـديات سمـات معينة كـانت موجـودة فى أسلاف النبـاتات الأرضية غير الـوعائيـة non vascular تلك السمـات التى لم تكن موجودة فى اسلافها المائية . ومن بـين هذه السمـات نجد اشباه الجذور السابق ذكرها ، وغيرها من المتكيفات مـع البيئة الارضيـة ومثـالـهـا الأدمـة cuticle التى تـغطـى البشرة epidermis ، وكذلك السبورات السميكة الجدران المتكيفة مع الانتشار بالهواء .



شكل (23ـ1) جسم النبات (الطور المشيجى) لواحد من انواع الكبديات الورقية (Conocephalum conicum) نام على التربة .



شكل (23ـ2) جسم نبات الريشيوكاربوس ناتانس (Ricciocarpus natans) وهو من الاشكال المائية . تمتص الحراشف شبه الشريطية الماء .

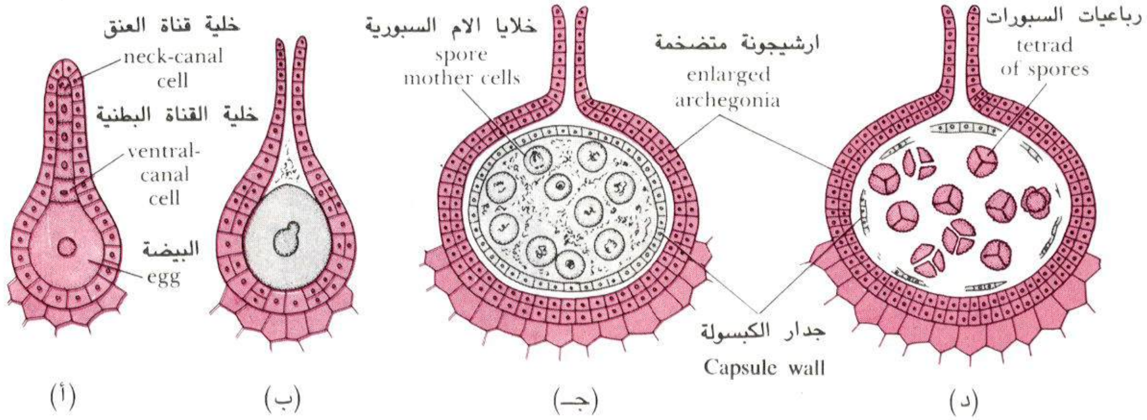


شكل (23ـ3) نبات الريشيوكاربس الصقيع (Ricciocarpfrostii) ناميا على التربة الرطبة .

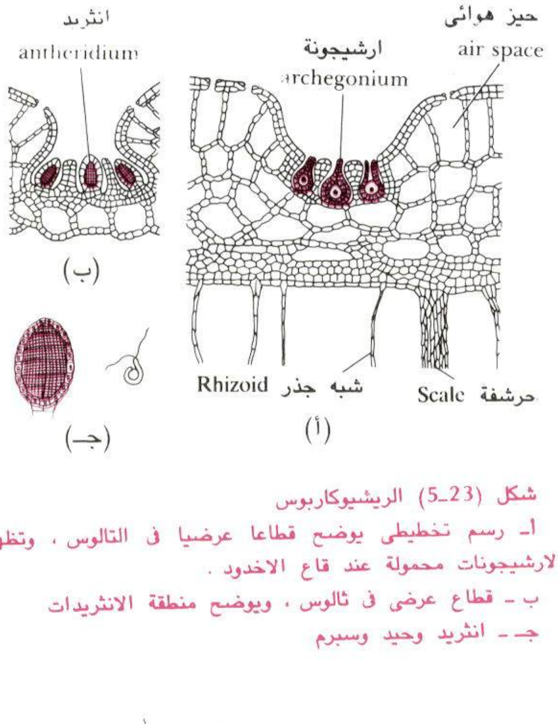
الكبديات الثالوسية : Thallose Liverworts

تكون الكبديات الثالوسية من النباتات البارزة والمفصصة lobed . ومع كل مرة ينقسم فيها الثالوس ، يكون شعبتين متكافئتين equal branches لحد ما . ويحدث النمو من خلال نشاطات واحدة او اكثر من خلايا قمية apical cells ، موقعها فى حز notch كل شوكة فى الثالوس . كما أن تخيل وجه الشبه بين الثالوس المفصص وكبد الانسان كان المسئول عن تسمية كل من الـ "Hepaticae" والـ "Liverworts" بالكبديات التى اطلقها النباتيون الأوائل .

ونبات رشيوكاربوس ناتانز (Ricciocarpus natans) هو مثال للكبديات الثالوسية المائية الطافية (شكل : 23 ـ 2) وربما يعيش هذا النبات فى بعض الاحيان على التربة الرطبة . كما أن أنواعا مختلفة من الريشيا Riccia قريبة الشبه من النوع المذكور ، وتكون أكثر تشعبا وبشكل وردى عندما تنمو فوق تربة رطبة (شكل : 23 ـ 3) . وما هذا النوع واقرباؤه من الريشيا إلا كبديات بسيطة ، على الرغم من أن بساطتها كثيرا مايعتبر مرجعها إلى اختزال أشكال الأسلاف التى كانت أكثر تعقيدا وليس إلى توارث الصفات البدائية primitive characteristics .



شكل (23_4) الريشيوكاربوس :
أ- ارشيجونة ناضجة ب - بيضة مخصبة جـ - الطور السبورى الناضج (يظهر جدار الكبسولة وخلايا الام السبورية).
د- الرباعيات السبورية . تحلل جدار الكبسولة . حوت القاعدة المنتفخة للارشيجونة السبورات . تميز جيل الطور المشيجى بالاولوان .



شكل (23_5) الريشيوكاربوس
أ- رسم تخطيطى يوضح قطاعا عرضيا فى التالوس ، وتظهر الارشيجونات محمولة عند قاع الاخدود .
ب - قطاع عرضى فى ثالوس ، ويوضح منطقة الانثريدات
جـ - انثريد وحيد وسبرم

يعقب انبات سبور الرشيوكاربوس ricciocarpus ظهور نبات مفصص يشبه القلب فى شكله، يبلغ اتساعه حوالى 22 ملليمتر يمكن مشاهدة تجمعات ضخمة من هذه الثالوسات طافية على سطوح البرك ponds والغدران الهادئة. توجد بضعة من اشباه الجذور المبعثرة والعديد من الحراشف scales البنية القرمزية، والشبيهة بالشرائط (شكل : 23_2)، متصلة بسطح النبات السفلى. يمتص كل من اشباه الجذور والحراشيف الماء . فعندما يكون النبات ناميا فوق سطح التربة تصبح اشباه الجذور اكثر عددا ، بينما يقل عدد الحراشف كثيرا. ينقسم السطح العلوى من الثالوس الى مساحات صغيرة، يوجد وسط كل منها فتحة صغيرة غير بارزة تنفتح على حيز هوائى داخلى كبير internal air space كما يتألف الجزء العلوى من الطور المشيجى من نسيج يقوم بالبناء الضوئى (الكلورنشيما chlorenchyma) وكذلك حيزات هوائية كبيرة. وتحت هذه الطبقة يوجد نسيج برنشيمى صلب يفتقر كثير الى البلاستيدات الخضراء، حيث يتجمع النشاء فى خلاياها (شكل: 23 _ 5).

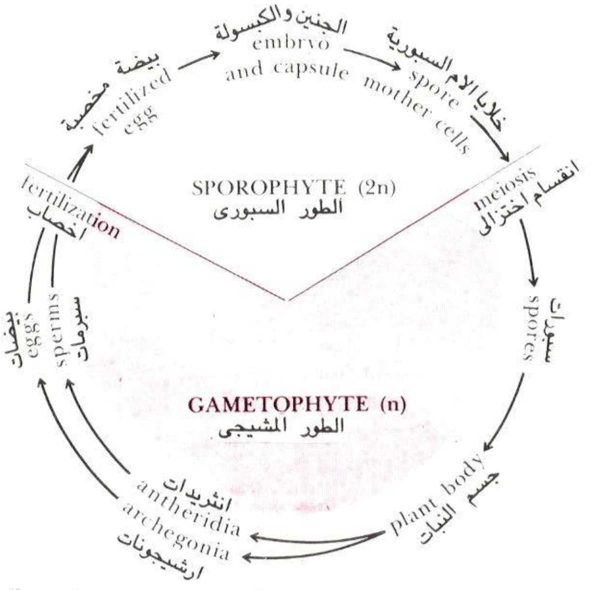
تتكاثر هذه النباتات بالتشظى ويحدث فى الثالوس من وسطه وعن طريق السبورات الناشئة عقب نشاط جنسى . اغلب انواع الريشيا متجانسة الثالوس homothallic، اما

الاعضاء الجنسية (شكل : 23 _ 4، 23 _ 5) لنوع الريشيوكاربوس ricciocarpus فتوجد عند قاع الاخاديد furrows، التى تعلو الجزء العلوى من الثالوس. اما سماتها فتشابه تلك الموجودة فى مجموعة كاملة من النباتات الكاملة

الارضية. تحتوى الارشيجونة وهى عضو التأنيث الدورقى الشكل على بيضة قاعدتها المنتفخة ، يعلو البيضة خلية القناة البطنية ventral canal cell، التى تكون بمثابة سدادة plug تحبسها فى مكانها، اما قناة الارشيجونة فتكون مملوءة بمجموعة كاملة من خلايا قناة العنق neck canal cells التى تكون خطية الترتيب، ويكون الانثريد antheridium (شكل 23 ـ 5 ب ، ج) عبارة عن تركيب بيضوى الشكل له جدار يتألف من طبقة واحدة من الخلايا، يغلف هذا الجدار كتلة من الخلايا الصغيرة التى تتطور فيما بعد الى سبرمات sperms او اشباه الانثريدات antherozoids، وعند النضوج ينفجر الانثريد وتفلت السبرمات، واثناء ذلك تنحل خلايا قناة العنق والخلية السفلية للقناة فى الارشيجونة، وذلك من اجل تكوين كتلة بروتوبلازمية، تبرز من طرف الارشيجونة. تسبح السبرمات ثم تصل الى الارشيجونة عبر الماء الموجود فى الاخاديد ومن ثم تقع فى حبائل الافراز الهلامى (اللزج). ثم تشق طريقها فى العنق الى اسفل واخيرا يخترق واحد من السبرمات البيضة (شكل 23 ـ 4 ب).

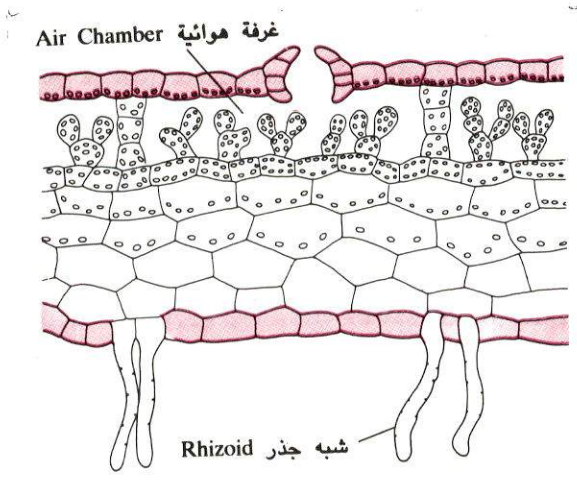
تتضخم البيضة المخصبة fertilized egg ومن ثم تصبح محاطة بغشاء سليولوزى رفيع ثم تتعرض البيضة المخصبة لسلسلة من الانقسامات الخلوية تنشئ بها كتلة من الخلايا هى الجنين embryo. تكون خلايا الجنين متشابهة فى البداية، ولكن سرعان ماتتميز طبقة خارجية من الخلايا عن الخلايا الداخلية. تسمى الطبقة الخارجية بجدار الكبسولة capsule wall(شكل 23 ـ 4 جـ) عند نضوج الجنين تتفرق خلايا الكبسولة وتصبح كروية الشكل وتأخذ وظيفة خلايا سبورات الام spore mother cells ومع كبر حجم الجنين يكبر حجم قاعدة الارشيجونة كما يصبح جدارها مؤلفا من صفين من الخلايا.

تتعرض الان كل واحدة من خلايا سبورات الام المتكونة فى الكبسولة الى الانقسام الاختزالى مكونة (4) سبورات . وفى الريشياكاربوس يكون عدد الكروموسومات فى البيضة المخصبة وفى الخلايات السبورية الام، وفى خلايا الكبسولة مساويا للعدد (8) ومن هنا يكون العدد (n) فى كل سبور بعد الانقسام الاختزالى هو (4) فى انواع اخرى من الكبديات يكون العدد (n) مساويا الى (9) بينما يكون العدد (2n) بالتبعية هو 18) هما العددان الشائعان.

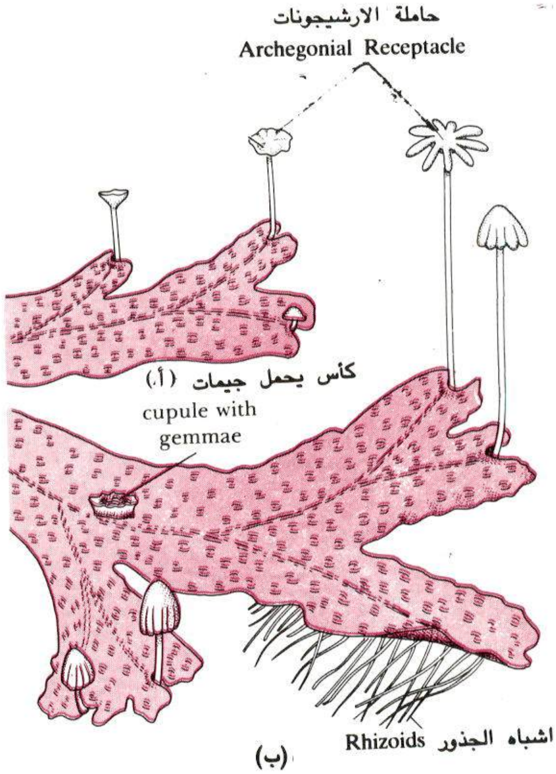


شكل (23ـ6) دورة حياة الريشيوكاربوس

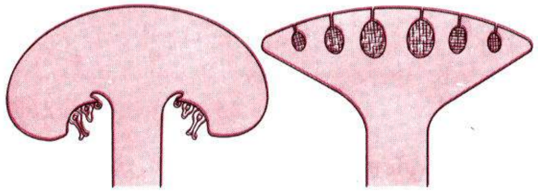
تميل السبورات الناشئة عن كل خلية سبورية ام الى ان تبقى سوية فى مجموعات متكورة، عدد سبوراتها (4) لذا تسمى بالرباعيات tetrad(شكل 23 ـ 4 د) مثلها فى ذلك مثل رباعية السبورات الدقيقة microspores فى مغطاة البذور عندما تنضج السبورات تتحطم الكبسولة محررة اياها فى حيز القاعدة المنتفخة فى الارشيجونة، واخيرا تتحرر السبورات بفعل تحلل الثالوس، ثم تنبت مع حلول فصل النمو التالى . تبرز دورة حياة الريشيوكاربوس (شكل 23 ـ 6) فى سماتها العامة دورة حياة كل الكبديات والحزازيات ويعود كل من السبور وجسم النبات واعضائه الجنسية والامشاج الى الطور المشيجى او الجيل (n). وبعد الاخصاب ومضاعفة العدد الكروموسومى chromosome number تنشأ البيضة المخصبة التى تنمو مكونة كبسولة تحوى بدورها خلايا الام السبورية وهذه هى التراكيب التى تكون الطور السبورى اى جيل (2n) يكون جيل الطور المشيجى فى كل من الكبديات والحزازيات ضوئى التغذية phototrophic، لقد وصف جنين الريشيوكاربوس وكبسولته وخلايا الام السبورية فيه على انها تحوى جميعا قطيرات droplets صبغة خضراء، ولكن يستبعد ان يكون هذا سببا لتخليق ولو القدر الضئيل من الغذاء.



شكل (23ـ8) نبات الماركانتشيا ، قطاع عرضى فى الثالوس



شكل (23ـ7) نبات الماركانتشيا (Marchantia polymorpha)
أ ـ نبات ذكرى ب ـ نبات انثوى حاملة الانثريدات antheridial receptacle



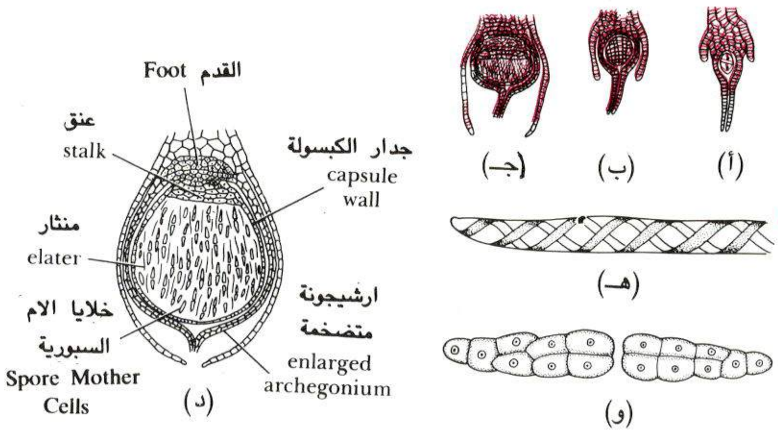
شكل (23ـ9) الماركانتشيا ، رسم تخطيطى يوضح مواقع الارشيجونيات (الى اليسار)، والانثريدات (الى اليمين).

ولاغرو فاثناء تطوره، يكون الطور السبورى تام الاعتمادية على الطور المشيجى بالنسبة للماء والرطوبة وربما كل المواد الغذائية . وفى الانواع الاخرى من الكبديات والحزازيات يكون طورها السبورى Sporophyte بلاستيدات خضراء وبذلك ينتج النشاء وبالتبعية يكون فى الغالب قليل الاعتماد على الطور المشيجى.

الماركانتشيا : *Marchantia*

معظم الكبديات الثالوسية تكون اكثر تعقيدا من الناحية التركيبية من الريشيوكاربوس فثالوسها اى الطور المشيجى gametophyte يكون اكثر تخصصا بينما تكون اعضاء التأنيث فى العديد من الانواع مرفوعة فوق الثالوس على تراكيب معنقة stalked structures، تسمى الحاملات الجنسية receptacles والماركانتشيا جنس من الكبديات ملفت للنظر ومعروف جيدا تكون انثريداته واقعة على حوامل جنسية معنقة ايضا (شكل 23 ـ 7).

يعتبر نبات الماركانتشيا المتعدد الاشكال (marchantia polymorpha) من النباتات واسعة الانتشار فى الوديان الصغيرة الرطبة وغيرها من مناطق الرطوبة العالية والظل. اشارت عدة ملاحظات الى ان احتمال غزو هذا النبات للمناطق يزيد عندما تدمر الحرائق خضرتها بشرط وجود نسبة رطوبة عالية . وفى ظل هذه الظروف يمكن للنباتات ان تزدهر بصورة نمو حصيرى كثيف لعدة سنوات ومن ثم تعقبها تدريجيا الحزازيات ثم النجيليات ثم بادارت النباتات الخشبية . يشكل ثالوس المركانتشيا وعدد معين من الكبديات القريبة شريطا



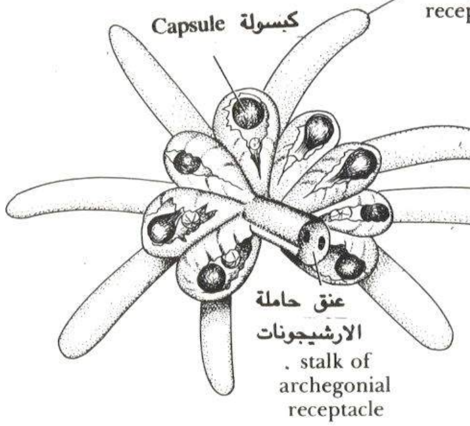
شكل (23ـ10)
مراحل فى تطور الطور السبورى للماركانتشيا .
أـ اول انقسام فى البيضة المخصبة .
ب ـ الجنين عديد الخلايا .
جـ ـ جنين اكبر سنا ، بدأ ظهور القدم واختراقه انسجة الطور المشيجى ، كما بدأ تمايز خلايا العنق
د ـ طور سبورى ناضج .
هـ ـ جزء من المنثار .
و ـ مجموعة من خلايا الام السبورية (مكبرة) جيل الطور المشيجى موضحاً بالالوان .

عريضا متشعبا سرعان ماينتشر مغطيا الارض ويكون مرتبطا بها عن طريق مخاطيف من اشباه الجذور كبيرة العدد. يكون سطح الثالوس معلما بصفائح متعددة السطوح (تشبه الماس) diamond – shaped plates تحدد مواقع حيزات الهواء الداخلية (internal – air – chambers) يظهر قطاع الثالوس هذه الحيزات الهوائية التى تحتل الجزء العلوى من الثالوس والتى تغطيها البشرة (شكل : 23 ـ 8) ينفتح كل حيز على الهواء الخارجى بواسطة فتحة صغيرة تشبه المدخنة chim-neylike pore بما يشبه الثغر stoma،من قاع الحيزات الهوائية تبرز سلاسل خلوية حيث تحوى كل خلية عددا كبيرا من البلاستيدات الخضراء. كما يتألف الجزء القاعدة للثالوس من مجموعة متقاربة وعديمة اللون كثيرا ماتحتوى على حبيبات النشاء.

والماركانتشيا متباينة الثالوس ويدخل فى تكاثرها الجنسى نوعان من النباتات،نباتات ذكرية male plants، تحمل حوامل الانثريدات ونباتات انثوية Female plants مزودة بحوامل الارشيجونات (شكل 23 ـ 7 ولوحة 12) اما الاعناق التى تحمل الحوامل فهى عبارة عن شعب رأسية فى الثالوس ، وتكون حاملة الارشيجونة مستطيلة لحد ما شبه مظلية الشكل umbrellalike ومزودة بفصوص lobes تشبه الاصابع حيث يكون عددها (9) فى العادة، وتحيط الحافة. تولد الارشيجونات فى صفوف تتخلل هذه الفصوص وتكون اعناقها متجهة الى اسفل (شكل : 23 ـ 9 اليسار) اما حوامل الانثريدات فتشابه الاقراص disklike وحوافها كحواف المحار المروحى Scallop (شكل 23 ـ و ـ اليمين). يتم الاخصاب قبل استطالة اعناق الحوامل . تنفجر الانثريدات عند قممها وتنفث سبرماتها بمساعدة ماء المطر الى المساحات القريبة من الارشيجونات التى تحملها النباتات المجاورة. هذا مع العلم بان عملية الاخصاب تتم بنفس الطريقة المبينة فى الريشيوكاربوس

يبدأ جيل الطور السبورى بإخصاب البيضة وبعد الاخصاب تستطيل أعناق الحوامل . يتكرر مرارا انقسام البيضة المخصبة مما يكون جنينا عديد الخلايا داخل قاعدة الارشيجونة ، التى تتضخم بنمو الجنين (شكل : 23 ـ 10 أ ـ جـ) واثناء نمو الجنين ينمو غمد اسطوانى Cylinderic-al Sheath من قاعدة كل ارشيجونة ويحيط بالجنين . كما تنمو أيضا صفيحة من الأنسجة وتتجه إلى أسفل على جانبى صف من الارشيجونات .

يكون الجنين كرويا فى البداية ، ولكن سرعان ما ينمو جزء قاعدى يسمى بالقدم foot فى أنسجة الحاملة ، حيث يقوم بوظيفة العضو الماص . يكون الجزء الاغلب من الجنين كبسولة تفصلها عن القدم منطقة من الخلايا غير المتمايزة العنق stalk بينما تتمايز محتويات الكبسولة مكونة خلايا الام السبورية Spore mother cells ، وتتجمع الاخيرة فى صفوف رأسية او عناقيد Cluster ، وكذلك تتجمع فى مناثير elatrs ، وهى خيوط اسطوانية طويلة ، جدرانها الداخلية مغلظة حلزونيا spirally thickned inner walls (شكل : 23 ـ 10 د ـ و) . بعد الانقسام الاختزالى وتكون



شكل (23ـ11) الماركانتشيا ، يوضح الرسم صورة حاملة الارشيجونات من اسفل لاحظ الكبسولات الناضجة .

رباعيات السبورات spore tetrads ، يستطيل العنق وتتهتك الارشيجونة وتندفع الكبسولة الى أسفل (شكل : 23 ـ 11) . تجف الكبسولة وتنفتح محررة فى ذلك كتلة قطنية سائبة من السبورات تنتشر بفعل الرياح تساعد المناثير على عملية افلات السبورات ، إذ تكون هذه المناثير ماصة للرطوبة ، وتلتف هذه حول نفسها عندما تجف متعرضة فى ذلك لحركات اهتزازية تتسبب فى انفصال الكتلة السبورية وتفككها مما يعرض السبورات للتيارات الهوائية . لا ينضج الطور السبورى كله ، غير أن التقديرات الجادة تعتبر أن حوالى سبعة ملايين سبور تتكون على كل حاملة ارشيجونية .

يكون جيل الطور السبورى للماركانتشيا كامل الاعتمادية غذائيا فى مراحله المبكرة من التطور ، إذ يعتمد على أنسجة الطور المشيجى ، وبعد ذلك يخضر العنق والكبسولة والجدار والمناثير وحتى قدم الطور السبورى . وخلايا هذه الانسجة تكون وفيرة البلاستيدات الخضراء ولها مقدرة معتبرة على القيام بالبناء الضوئى ، (Bhotosynt) hesis ومن هذا المنطلق يشكل الغذاء الناتج عن الطور السبورى دعما للموارد التى يقدمها الطور المشيجى ، ومن هنا أيضا لا يكون الطور السبورى معتمدا تماما على الطور المشيجى فى غذائه ، كما هى الحال بالنسبة للماء والاملاح المعدنية عند النضوج ينفلق جدار الكبسولة وتتحرر السبورات .

علاوة على التكاثر الجنسى يتكاثر العديد من انواع الكبديات خضريا أيضا ، ففى الماركانتشيا وغيرها من انواع الكبديات الثالوسية تموت الاجزاء القديمة تدريجيا مع نمو النبات فوق التربة بعد موت الثالوس عند قاعدة إحدى الشوكات ، تصبح شعبتاها نباتين منفصلين . تنتج أنواع عدة من الكبديات بما فى ذلك الماركانتشيا تراكيب تخصصية أيضا الجيمات gemmae (كالبراعم الصغيرة) ، تحدث التكاثر الخضرى . وتتولد الجيمات فى تراكيب كأسية الشكل (كؤيسات) cupules على السطح العلوى من الثالوس (شكل 23 ـ 7) . تكون الكؤيسات فى الماركانتشيا مفلطحة قليلا ، أما الجيمات فتتخذ شكل الاجسام العديسية الدقيقة shaped bodies minute lens ، تتصل بقاع الكؤيس عبر عنق قصير وتكنس مياه الامطار الجيمات محررة إياها من الثالوس ، وربما تحملها لمسافة ما بعيدا عن النبات الام . اذا ما رقدت الجيمات على التربة بسطحها الاكبر تنمو منها أشباه جذور من اسفل ومن ثم يتكون ثالوس جديد .

وعلى الرغم من أن دورة حياة الماركانتشيا تبدو ظاهرة التعقيد ، الا انها تتبع فى ذلك نمطا مشهورا وبسيطا نسبيا . فجيل الطور المشيجى يتضمن السبور والثالوس ونوعى الحوامل الجنسية ، والاعضاء الجنسية وأخيرا الامشاج ، أما جيل الطور السبورى الذى تستهله البيضة المخصبة فيحوى القدم والعنق والكبسولة والمناثير وأخيرا خلايا الام السبورية . وبينما يكون جيل الطور السبورى قادرا على القيام بالبناء الضوئى إلا أنه يحصل على جزء من غذائه من الطور المشيجى .

الكبديات الورقية Leafy Liverworts

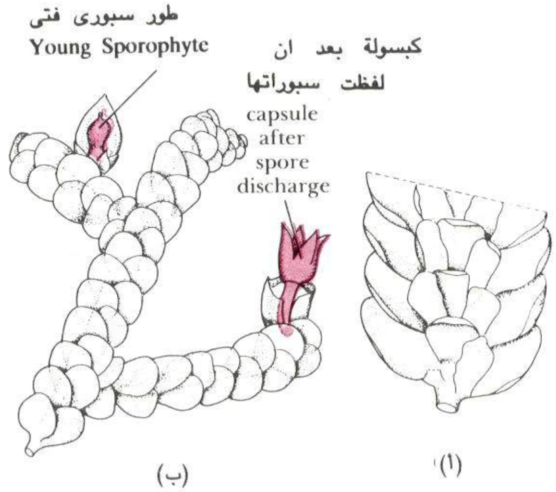
تشكل الكبديات الورقية التى تعرف احيانا بالحزازيات الحرشفية scale mosses ، أكبر مجاميع الكبديات على الاطلاق ، وتنمو بوفرة على هيئة حصائر او بسط تكسو قطع الخشب الكبيرة المعطنة ، وفوق التربة الرطبة ، وكذلك كنباتات معايشية epiphytes ، فوق جذوع الاشجار الكبيرة.



شكل (23ـ12) حزازيات وكبديات ، تتكون التجمعات الكثيفة الظاهرة فى خلفية الصورة على الفروع والى حد ما على جذع الشجرة ، من حزازيات وكبديات ، كما كان الجنس الرئيسى للكبديات هو البوريلا Porella .

كما ان التجمعات الخيطية الطويلة المتذبذبة ، تتكون من نبات السلاجنيلا (Selaginella Oregana) وهو حزاز صولجانى صغير (فصل ـ 26).

وفروعها (شكل : 23 ـ 12) . يكون جسم النبات ظهريا بطنيا ، يتخذ فى بعض الانواع شكلا شبه ثالوسى thalluslike . إذ يتألف من عرق وسطى قصير له امتدادات تشبه الجناحين الممتدين على الجانبين . ومع ذلك يتألف جسم النبات الظهرى بطئ فى معظم الانواع من محور يحمل امتدادات شبه ورقية (شكل 23 ـ 13 أ) . وفى هذه النباتات يقل أو ينعدم وجود التمايز الداخلى للانسجة



شكل (23ـ13) البوريلا ـ من الكبديات الورقية .
أـ السطح الاسفل لمحوره حاملا الاوراق .
ب ـ النبات ويحمل طورا سبوريا ملتصقا به .

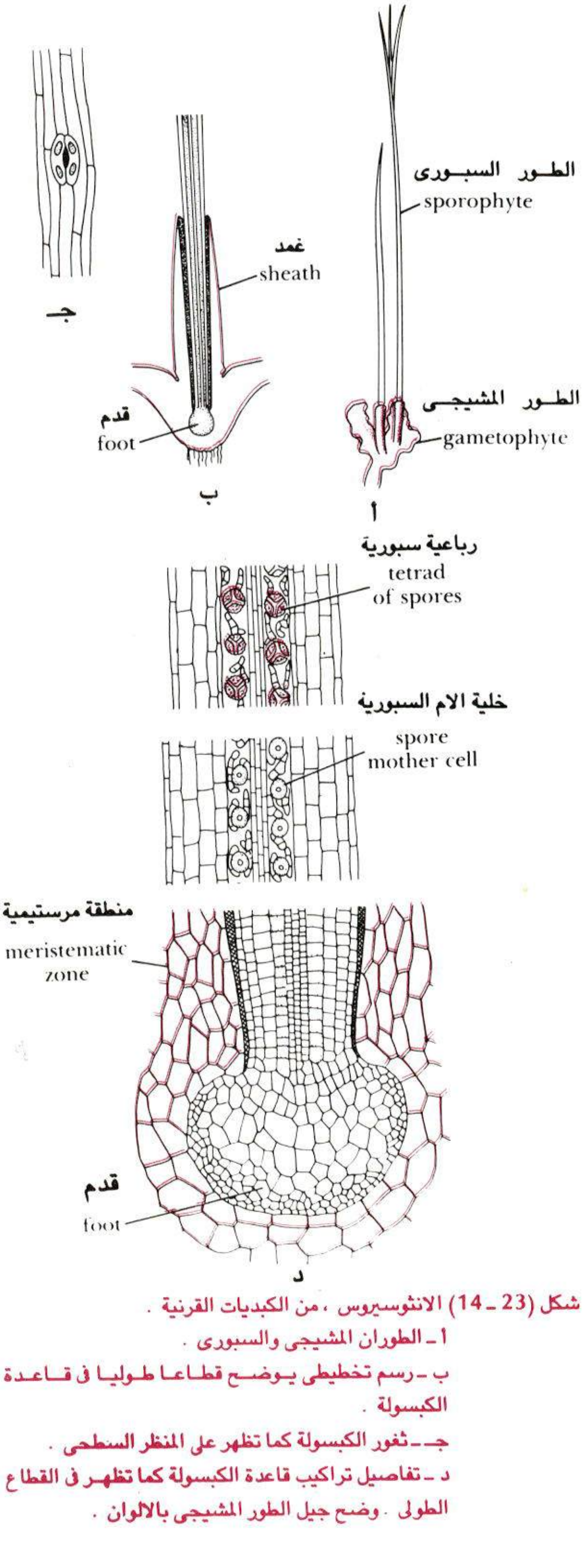
internal differentiation of Tissues كما تنعدم الثغور أيضا . تتولد الاوراق فى رتب ثلاث : وتكون رتبتان منها عرضيتين بامتدادات الى الخارج تحيط المحور من جانبيه تقسم الاوراق العرضية احياناً الى جزئين . أما الرتبة الثالثة للاوراق والتى تنعدم فى بعض الاجناس فتنشأ من السطح السفلى . يخلط فى بعض الاحيان بين الكبديات الورقية وبين الحزازيات الحقيقية true mosses ، ولكن يمكن تحديدها بملاحقة تراكيبها الخضرية بعناية فالحزازيات تحوى التماثل القطرى radially symmetrical ، اى ان الاوراق تكون متصلة بالساق ومحيطة بها ، وعلى عكس النموذج الموجود فى الكبديات والذى وصفناه آنفا علاوة على ذلك فان ورقة الحزاز (عدا بعض الشواذ) ومثالها ما هو موجود فى الحزازيات الخثية peat mosses ، وبعض الانواع الاخرى ، تحوى عرقا وسطيا midrib ، بينما يكون هذا التركيب غير موجود فى الفصوص الورقية للكبديات .

تولد الاعضاء الجنسية للكبديات الورقية على النبات الاخضر ، او على طوره المشيجى . فنجد ان الانثريدات تولد فى آباط الاوراق بينما تكون الارشيجونات طرفية الموقع ، إذ

تقع فى أعلى الساق الرئيسى او على حد فروعها . يحوى الطور السبورى قدما وعنقا وكبسولة تنفتح باربعة مصاريع valves (شكل : 23 ـ 13 ب) . يغلف الطور السبورى عادة داخل غمد واق protective sheath ، يظهر منه عند اقترابه من النضج . لقد اظهرت الدراسات ان نبات الطور السبورى غير الناضجة فى انواع بعينها من الكبديات الورقية ، تكون خضراء وتحتوى على حبيبات نشوية starch grains وعلى الرغم من عدم استقلاليتها التامة غذائيا عن طورها المشيجى الا انها من المحتمل أن تنتج جزءا كبيرا من احتياجاتها من الغذاء .

الكبديات القرنية Horned Liverworts (Anthocerotae)

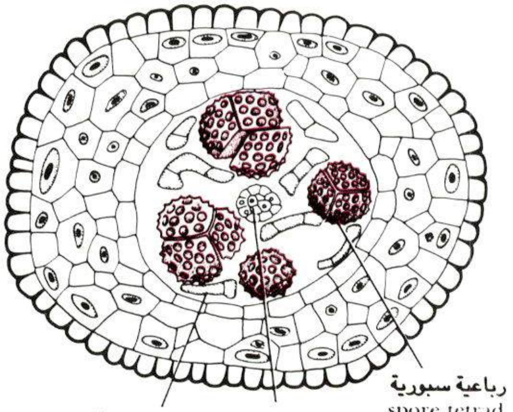
تشكل الكبديات القرنية (وتسمى ايضا ((Hornworts ، مجموعة صغيرة من قسم الحزازيات غير أنها تظهر من الاختلافات ما يؤهلها لتشكيل طائفة منفردة وجنس الانثوسيروس Anthoceros هو أشهر أجناسها وتنتشر نسبيا أنواعه على شواطىء البرك والبحيرات وبوجه خاص على طول قنوات المياه والممرات الضيقة وجوانب الطرقات ، وطوره المشيجى يشبه الثالوس ويكون داكن الخضرة وصغيرا ومفصصا ، كما يكون دائريا تقريبا فى حوافه . وأنسجته الداخلية قليلة التمايز . تحتوى فى العادة خلايا جيل الطور المشيجى على بلاستيدات خضرة وحيدة وكبيرة تحوى بدورها جسما يسمى بمركز تجميع النشاء pyrenoid ، يكون مشابها فى تركيبه وفى وظيفته على الارجح لمراكز تجميع النشاء فى انواع بعينها من الطحالب الخضراء غير أن بنيته اكثر تعقيدا منها . أما التراكيب المتشابهة مع الثغور والتى توجد فى الطور السبورى (شكل 23 ـ 14 جـ) فلقد اكتشف وجودها فى السطحين العلوى والسفلى على حد سواء من نباتات الطور المشيجى ، لعدة انواع من جنس الانثوسيروس ، من الكبديات القرنية ، ولقد فسرت هذه التراكيب بأنها تحورات جرت على الثغور التى فقدت وظيفتها ولكنها لم تفقد تشابهها مع تلك التى فى الطور السبورى،تكون الارشيجونات والانثريدات فى العديد من الانواع مولودة على نفس الثالوس ومدفونة بعمق فى أنسجته كما يكون الطور السبورى الناشىء عن البيضة المخصبة عبارة عن كبسولة



شكل (23 ـ 14) الانثوسيروس ، من الكبديات القرنية .
أ ـ الطوران المشيجى والسبورى .
ب ـ رسم تخطيطى يوضح قطاعا طوليا فى قاعدة الكبسولة .
جـ ـ ثغور الكبسولة كما تظهر على المنظر السطحى .
د ـ تفاصيل تراكيب قاعدة الكبسولة كما تظهر فى القطاع الطولى . وضح جيل الطور المشيجى بالالوان .

اسطوانية شبه سنبلية spikelike مستدقة قليلا باتجاه القمة (شكل 23 _ 14 أ) . وتكون فى العادة بطول السنتيمتر الواحد غير أنها بلغت طولا يتراواح بين 5 _ 6 سم فى النوع الكالفورنى . يحيط غمد من نسيج الطور المشيجى قاعدة الكبسولة وتمتد الاخيرة الى اسفل مكونة قدما _ وهو عضو مسئول عن الربط والامتصاص . ويكون مغمورا بعمق فى نسيج الثالوس . (شكل : 23 _ 14 ب) .

يذكرنا تركيب كبسولة الانثوسيروس من جوانب معينة بكبسولة الحزازيات ، وهى حالة يمكن اعتبارها مثالا على التطور التقارى Convergent evolution . يبرز القطاع العرضى فى كبسولة ناضجة (شكل : 23_15)، مجموعة صغيرة من خلايا عقيمة تسمى بالعويميدات Columella ، وتوجد فى المركز ، ويحيط بالعويميدات اسطوانة مفرغة تحوى المناثير elaters ، وكذلك رباعيات السبورات . تمتد كل من العويميدات واسطوانة نسيج انتاج السبورات رأسيا على طول الكبسولة . ويحيط بكل هذا منطقة من خلايا عقيمة تكون مغطاة بدورها ببشرة epidermis كاملة التطور ، ويكسوها الكيوتين cutin تتوزع عليها الثغور بمثل ما هو موجود عليه فى النباتات الوعائية (شكل 23_14 جـ). تحوى كل خلية من المنطقة العقيمة واحدة او اكثر من البلاستيدات



شكل (23 _ 15) الانثوسيروس ، قطاع عرضى فى كبسولة ناضجة . وضح جيل الطور المشيجى بالالوان .

الخضراء ، ويعتمد عددها على النوع . يجعل وجود البلاستيدات الخضراء الطور السبورى الناضج عظيم الاستقلالية عن التطور المشيجى بالنسبة للغذاء على الرغم من اعتماده بالنسبة للماء والعناصر المعدنية . عند نضوج الكبسولة ينغلق جدارها وتنطلق منها السبورات .

بعد انقضاء فترة النمو المبكر تستطيل الكبسولة بفعل نشاط منطقة مرستيمية توجد عند قاعدتها ، وهى سمة تطورية تختص بها الحزازيات Bryophytes . تنشىء هذه المنطقة الخلايا من كل الانواع الموجودة فى الكبسولة الناضجة فمن خلايا عقيمة الى خلايا منتجة للسبورات (شكل : 23_14 د). وهكذا فبينما تنضج السبورات وتظلل من الجزء العلوى للكبسولة تنشأمن تحتها وباستمرار سبورات جديدة ، وفى بعض الانواع تستمر الكبسولة فى النمو وانتاج سبورات جديدة طوال حياة الطور المشيجى .

الحزازيات : Mosses (Musci)

يلاحظ العوام الحزازيات اكثر من ملاحظتهم للكبديات بسبب ان الاولى تنمو فى اماكن يسهل الوصول اليها ، كما ان النباتات ذاتها تكون اكثر بروزا وظهورا . وعلى عكس الكبديات تكون الحزازيات اكثر تماثلا ونعنى بهذا ان اوراقها تنشأ محيطة من كل جانب بمحور مركزى وتكون سيقانها فى الكثير من الانواع منتصبة (قائمة) بينما تحوى انواع اخرى سيقانا ممتدة تكون بدورها شعبا منتصبة وفى انواع ثالثة يمتد النبات كله زاحفا على السطح . ربما تظهر مثل هذه النباتات مفلطحة بسبب انثناء اوراقها وفروعها الى الاسفل .

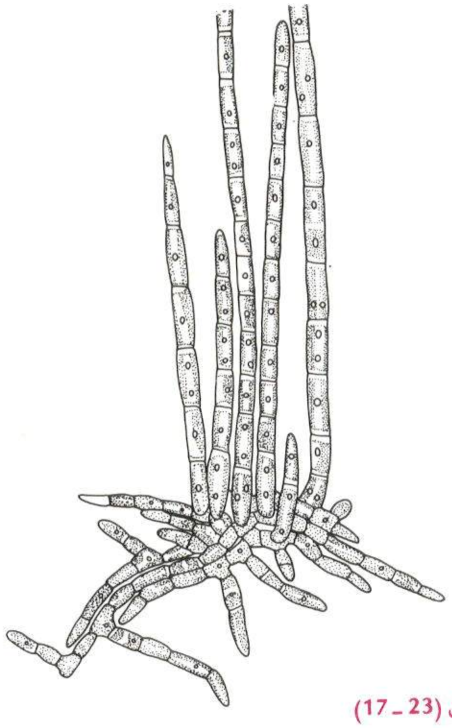
وعلى الرغم من تسمية النتوءات الجانبية على ساق الحزاز بالاوراق الا انها لا تتماثل مع اوراق النباتات الوعائية ، علما بان هذه النتوءات تكون اكثر شبها بالاوراق عما هى الحال فى الثالوس المفصص للكبديات الورقية ، كما ان لها فى الحزازيات الحقيقية عادة عرقا وسطيا محددا .

تحوى الحزازيات ما يقارب من 14000 نوع ينتمى اغلبها الى فصلية واحدة هى الحزازيات الحقيقية true mosses (Bryales) ، وهذه تعتبر اكثر الحزازيات شيوعاً . اذ نجد

ان الاسفغنوم Sphagnum . وكذلك الحزازيات المستنقعيه bog والخثية peat والسفعنليات hagnales ، تنضم كلها تحت الفصلية الثانية ، بينما تكون حزازيات الصخور rock mosses (Andreales) الفصلية الثالثة . وحزازيات الصخور هى نباتات قطبية وجبلية وتكون صغيرة الحجم داكنة اللون.سنتعرض بتفصيل اكبر للحزازيات الحقيقية والمستنقعية ، على الرغم من ان الفصائل الثلاث المذكورة شديدة القربى ولا تعتبر الفروق بينها عظيمة .

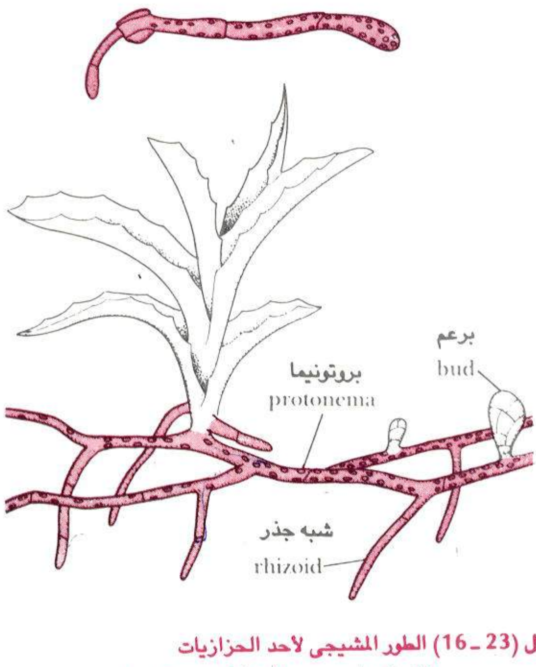
الحزازيات الحقيقية : The True Mosses

تبدأ دراسة دورة حياة الحزاز النمطى من السبور ، وهو التركيب الاول لجيل الطور المشيجى . ففى البيئة الرطبة ينبت سبور الحزاز مكونا البروتونيما Protonema ، وهو تركيب شديد التشعب وشبه خيطى ينقسم الى خلايا بواسطة سلسلة من الجدران العرضية (شكل : 23ـ16). تمتد شعب



شكل (23 ـ 17)

الستجيوكلونيوم (Stigeoclonium) من الطحالب الخضراء المائية الشائعة ، ويظهر جسم النبات متمايزا الى قسم ممتد وآخر منتصب .



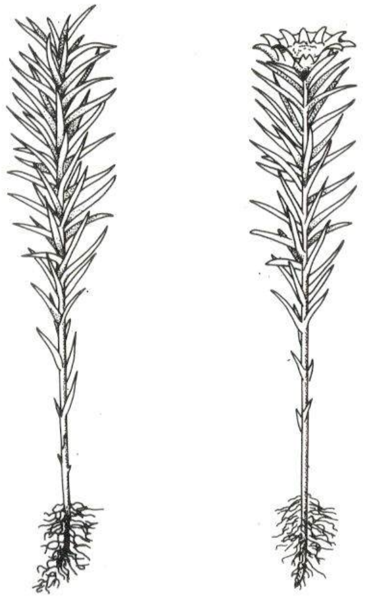
شكل (23 ـ 16) الطور المشيجى لأحد الحزازيات
(الى اعلى) : سبور نابت ليكون بروتونيما
(الى اسفل) البروتو نيما حاملا البراعم وأشباه الجذور ونباتا منتصبا مورقا

البروتونيما فوق سطح التربة وتحتوى خلايا هذه الشعب على بلاستيدات خضراء . اما اشباه الجذور التى تنمو من البروتينميا فتخترق التربة ، وتكون اشباه الجذور بنية او عديمة اللون وتخلو من البلاستيدات الخضراء ، وصفة البروتونيما شبه الخيطية المتشعبة تذكرنا بانواع معينة من الطحالب الخضراء . وفى الحقيقة فقد افترض ان يكون البروتونيما ممثلا لجزء من جسم النبات كانت اسلافه من النوع الطحلبى . كانت هذه الاسلاف تحوى نظاما ممتدا من الشرائط المتشعبة branching filaments ، كونت فروعا قائمة . وبناء على هذه الفرضية يعتبر الجزء القائم هو سلف الساق المورقة فى الحزاز ، بينما احتفظ الجزء الممتد او الزاحف فى صورة البروتونيما . علما بان هناك من الطحالب الخضراء التى تحوى النظم المتشعبة هذه ما يعيش حتى الآن (شكل : 23ـ17).

ان مسار حركة الماء فى الطور المشيجى كان مجالا للبحث لمدة طويلة . يبدو ان الحزازيات تنقسم الى مجموعتين تقومان على اسس فسيولوجية وتشريحية ، ففى احديهما تكون اشباه الجذور بارزة وشديدة التحديد فى شريط مركزى يحيطه نسيج شبه قشرى corticallike tissue ويوجد فى محور النبات الورقى ، وتكون خلايا هذا الشريط فى بعض الانواع سميكة الجدران ، ولكنها تكون على الاغلب رقيقة الجدران . ولا يكون الشريط نسيجا وعائيا ، ومع ذلك فلقد وجد باستخدام الصبغات المضيئة Fluorescent dyes وغير ذلك من تقنيات ، ان الماء الممتص باشباه الجذور ينتقل الى اعلى من خلال الشريط الوسطى . ولكن هذا الشريط لايكون فى هذه النباتات المسار الوحيد للماء ، الذى يعزز نقله بارتفاع الماء من اشباه الجذور وفوق السطح الخارجى للنبات منتقلا من ورقة الى اخرى فى طبقات شعرية رقيقة . تنمو حزازيات الشريط المركزى الناقل عادة فوق التربة او دبالها وليس على الصخور او قلف الاشجار . وتكون اشباه الجذور فى المجموعة الثانية اما قليلة العدد او معدومة اصلا وكذلك يختفى الشريط الوسطى او يكون ضعيف النماء . يمكن للنبات المورق ان يمتص الماء مباشرة من الندى او المطر عبر اى جزء من سطحه الخارجى تقريبا ، كما تخلو هذه النباتات من النقل الداخلى .

تظهر الاعضاء الجنسية عند اطراف السيقان المورقة ، وفى بعض الحزازيات يولد كل من الارشيجونات والانثريدات على نفس النبات بل واحيانا على نفس القمة (متجانسة الثالوس ـ homothallic)، وفى نباتات اخرى مثل البوليتريكم haircup or pigeon wheat mosses (Polytrichum) تولد الاعضاء الجنسية على نباتات مختلفة (من متباينات الثالوس heterothallic) وفى الحجاز الوترى (Cordmoss Funaria Hygrometrica) الشائع ينشأ فرع شبه برعمى كتركيب جانبى يكون بمستوى ادنى قليلا من الساق الانثريدية . ويحمل الارشيجونات (شكل : 23ـ19). وبعد الاخصاب واثناء نمو الطور السبورى تذبل الرأس الانثريدية حيث يمكن ملاحظتها بسهولة .

تكون الاوراق المحيطة بالاعضاء الجنسية متحورة فى العادة ، ويكون هذا صحيحا بنوع خاص بالنسبة للاوراق الطرفية الموجودة على السيقان او الفروع التى تحمل



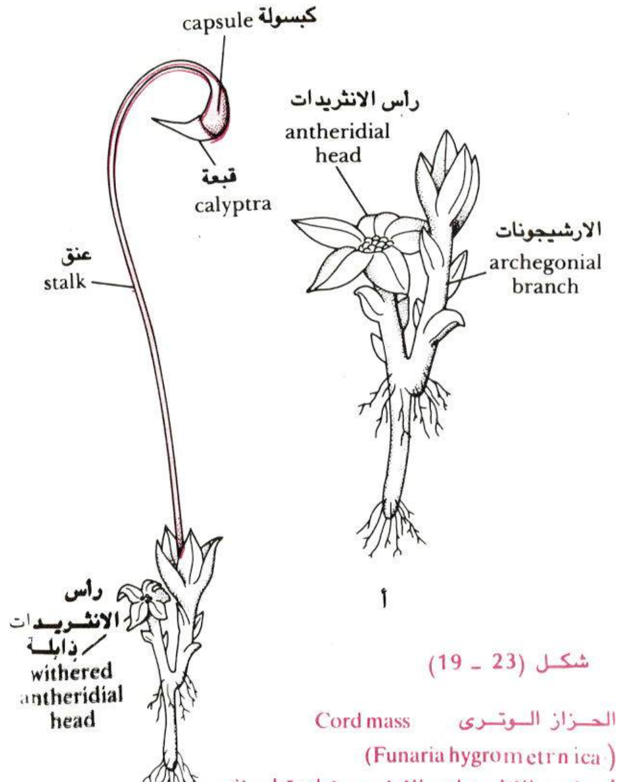
شكل (23 ـ 18) نباتان ذكرى وانثوى لحزاز قمح الحمام

Pigeon wheat mass (Polytrichum juniperinum)

أ ـ نبات يحمل انثريدات
ب ـ نبات يحمل ارشيجونات

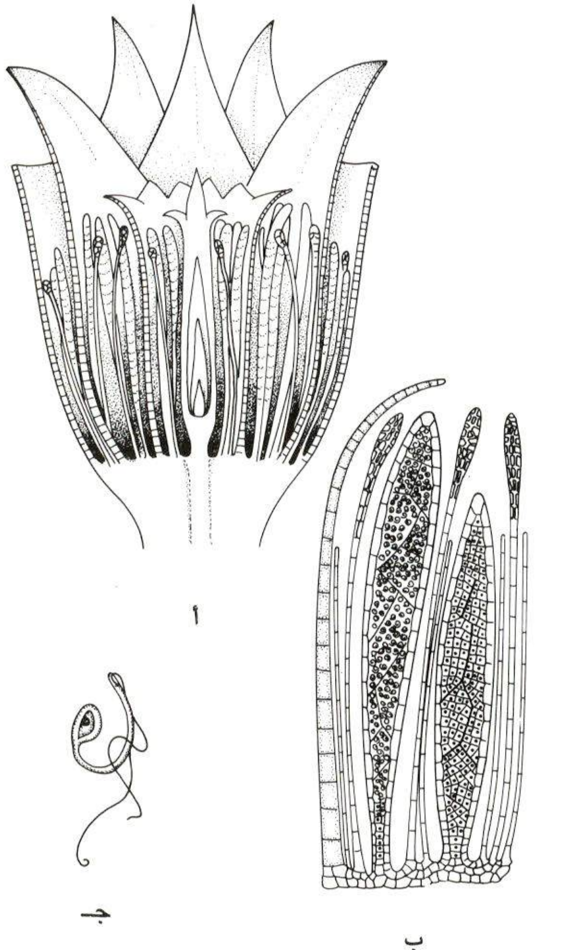
ففى نباتات الحزاز المورقة تنشأ التراكيب البارزة لجيل الطور المشيجى على البروتونيما بشكل براعم كمثرية المظهر pear shaped buds . وتكون هذه البراعم من خلال نشاط خلية قمية واحدة سيقانا مورقة leafy stems . كما تكون هذه السيقان القائمة بدورها (شكل : 23ـ18)، اشباه جذور لها ومن ثم تصبح غير معتمدة على البروتونيما التى سرعان ما تختفى . لايزيد طول نباتات الحزاز المورق عن بضعة سنتيمترات فى العادة الا انها تختلف حجما بدءا من الاشكال الدقيقة التى لا تكاد ترى إلا بالعين المجردة ، وانتهاء بالانواع المائية والاستوائية التى ربما يزيد طولها عن 30 سم . تكون اوراق الحزازيات خضراء ربما تملك احيانا انسجة تخصصية للبناء الضوئى ، ولكنها فى غالبية الانواع تتكون من طبقة وحيدة من الخلايا عدا اجزائها على طول العرق الوسطى .

الانثريدات اذ تكون مثل هذه الاوراق قصيرة فى العادة ، ربما تتخذ اللون الوردى او الوردى الشاحب . وتكون عنقودا cluster او تركيب ورديا rosette ، يمثل مظهريا زهرة صغيرة الحجم (شكل 23ـ18، 19). تكون الانثريدات عادة معنقة تشبه لحد ما الكأس وتتألف اساسا من غطاء خلوى Jacket of cells له واحدة او اكثر من الخلايا الغطائية عند قمته ويحيط بكتلة من نسيج ينتج السبرمات (شكل : 23ـ20). كما تكون الارشيجونات معنقة ايضا ومستطيلة كثيرا (شكل : 23ـ21). اما الجدار عند القاعدة فيكون سمكه عددا من الخلايا ، ويحوى العنق عددا كبيرا من خلايا القناة العنقية التى تتحلل لدى نضوج الارشيجونة.توجد تراكيب شبه شعرية مبعثرة بين الاعضاء الجنسية وتحوى بلاستيدات خضراء ، ربما تساعد هذه الشعيرات على الاحتفاظ بالماء حول الارشيجونات والانثريدات .



شكل (23 ـ 19)

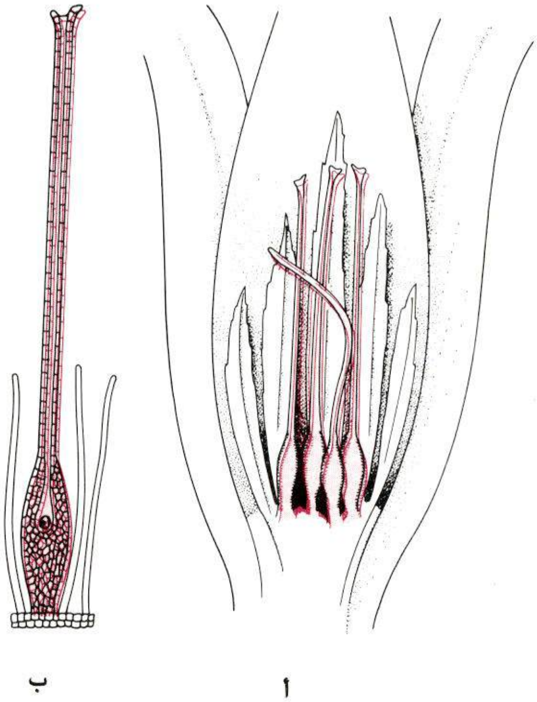
الحزاز الوترى Cord mass
(Funaria hygrom etr n ica)
أ ـ رؤوس الانثريدات والارشيجونات تعلو نفس النبات ولكن على شعبتين مختلفتين .
ب ـ الطور السبورى الناضج ينمو بعد الإخصاب .



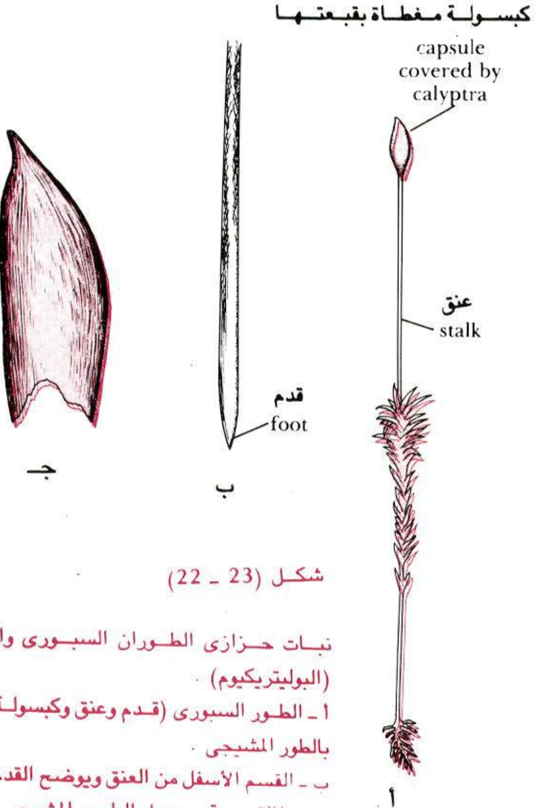
شكل (23 ـ 20)

انتريد حزاز (من مجموعة البوليتريتشيوم) .
أ ـ قطاع فى راس الانثريدات ، شعيرات صولجانية الشكل مبعثرة بين الانثريدات .
ب ـ انثريدان مكبران .
جـ ـ سبرم .

اثناء فترة الاخصاب يمتص الانثريد الماء وينتفخ ، ومن ثم تنتزع خلايا الغطاء بقوة تشرب الماء وتخرج السبرمات ، يكون الماء ضروريا للاخصاب وفى الحزازيات الاكبر تطرد السبرمات بفعل قطرات المطر فتنتقل من الرؤوس الانثريدية الى رؤوس الارشيجونات وفى الانواع الاصغر ربما تنتشر



شكل (23 ـ 21) ارشيجونات حزازية (من البوليتريتشيوم) .
(اليسار) : قطاع فى راس الارشيجونيات
(اليمين) : ارشيجونة واحدة مكبرة .



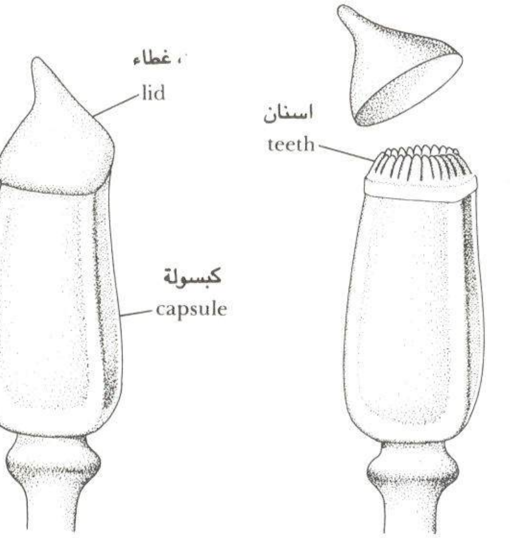
شكل (23 ـ 22)

نبات حزازى الطوران السبورى والمشيجى (البوليتريكيوم) .
أ ـ الطور السبورى (قدم وعنق وكبسولة) ملتصقا بالطور المشيجى .
ب ـ القسم الأسفل من العنق ويوضح القدم .
جـ ـ القبعة . جيل الطور المشيجى موضح بالألوان .

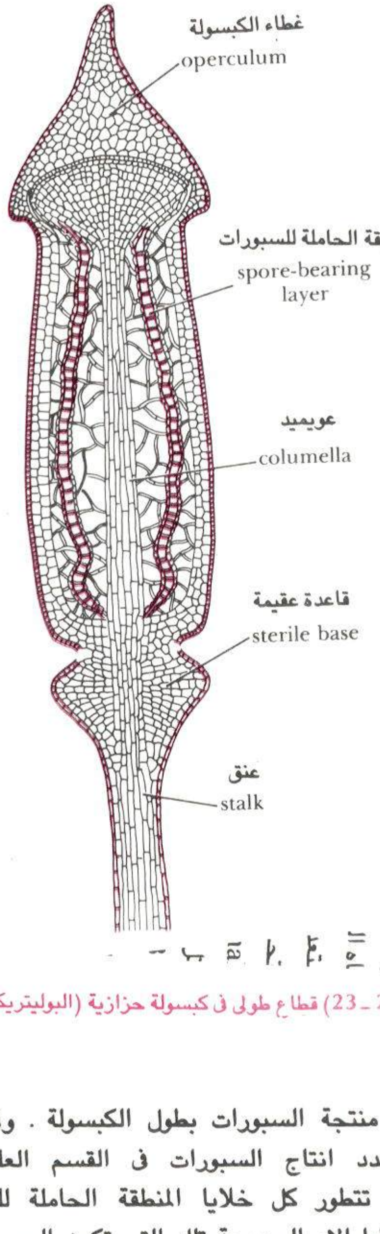
السبرمات من الانثريدات الى الارشيجونات مستعينة بطبقة رقيقة من الماء غالبا ماتغطى قمم النباتات.تنطلق السبرمات سابحة الى قمة الارشيجونة ثم تهبط داخل ممر ضيق يؤدى الى البيضة ، يندمج واحد من السبرمات مع خلية البيضة ويخصبها ، ربما يحدث الاخصاب فى اكثر من ارشيجونة واحدة غير ان المشهور ان ينتج عن هذا طور سبورى واحد .

يبدأ جيل الطور السبورى بالبيضة المخصبة التى سرعان ماتتطور الى جنين يتخذ شكلا مغزليا مطولا ، ثم ينمو عن الجنين عنق مطول هو عنق الكبسولة seta ، وتعلوه الكبسولة عند طرفه (شكل : 23ـ22 أ). يوجد القدم عند الطرف الادنى من العنق (شكل 23ـ22 ب) ويكون مدفونا فى انسجة نبات الطور المشيجى المورق ، هذا ويرجع ظهور القدم والعنق والكبسولة الى نشاطات خليتين قميتين تتخذان طرفى الجنين المغزلى الشكل موقعا لهما . ربما تكون الكبسولة عند نضوجها على امتداد العنق او متعامدة معه او متدلية منه ، تكتسب مميزات الكبسولة اهمية خاصة فى التعرف على مختلف انواع الحزازيات وكلما يزداد حجم الجنين يتضخم معه الجزء الاسفل من الارشيجونة ويستطيل ايضا ومن ثم يتحول الى قبعة calyptra . ومع استطالة الطور السبورى تتقطع القبعة عند قاعدتها ومن ثم تحمل الى اعلى وتبقى مدة من الوقت (تعتمد على النوع) فى صورة غطاء رقيق يميل الى الاخضرار او البنى ، يعلو الكبسولة (شكل 23ـ19 ب ، 23ـ22).

تنتج السبورات داخل الكبسولة فى منطقة اسطوانية الشكل تحيط بعمود يتألف من نسيج عقيم ويسمى بالعويميد columella (شكل 23ـ23) وفى بعض الانواع ، تمتد



شكل (23 ـ 24) البوليتريكيوم : كبسولة ناضجة وغطاؤها وأسنانها

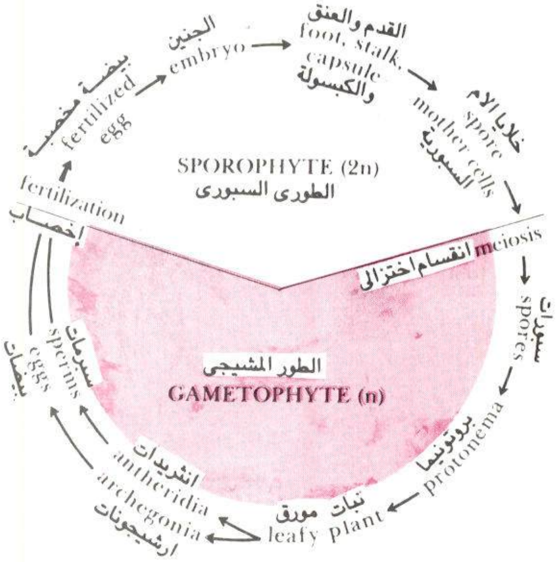


شكل (23 ـ 23) قطاع طولى فى كبسولة حزازية (البوليتريكيوم)

الاسطوانة منتجة السبورات بطول الكبسولة . وفى انواع اخرى يتحدد انتاج السبورات فى القسم العلوى من الكبسولة . تتطور كل خلايا المنطقة الحاملة للسبورات وتصبح خلايا الام السبورية تلك التى تكون السبورات بعد الانقسام الاختزالى ، وفى الداخل يكون عنق الكبسولة انسجة متميزة تشابه تلك الموجودة فى نبات الطور المشيجى المورق .

يكون الجنين بلاستيدات خضراء ، بينما يكون حديث العهد ولايزال حبيسا فى الارشيجونة ، عندما ينتج الطور السبورى يزداد عدد البلاستيدات الخضراء فى العنق كله وكذلك الانسجة الخارجية للكبسولة ، وفى العادة تحوى هذه البلاستيدات الخضراء حبيبات نشوية تسهل عملية انتاج الكربوهيدرات فى الكثير من الاجناس ، بسبب وجود الثغور فى نسيج بشرة الكبسولة . عندما يتم نضوج نبات الطور السبورى تماما يتضاءل الكلوروفيل ويشحب لون الكبسولة وتتحول الى البنى الشاحب او الداكن . مما لاشك فيه ان مقدرة جيل الطور السبورى على القيام بالبناء الضوئى تكفى ان يكون كل من العنق والكبسولة شديدى الاستقلالية عن جيل الطور المشيجى بالنسبة للمواد الغذائية . غير ان الطور السبورى يبقى معتمدا على النبات المورق بالنسبة لبعض الغذاء وكذلك الماء والعناصر المعدنية الضرورية .

وخلاصة القول . ان جيل الطور المشيجى (n) يبدأ بتكون السبورات ، وينبت كل واحد من هذه السبورات مكونا البروتونيما الشريطية filamentus protonema ، التى تتألف بدورها من قسمين : شعب شبه خيطية ترقد مسطحة على التربة وتحوى البلاستيدات الخضراء ، وكذلك اشباه جذور غير خضراء وظيفتها اختراق التربة . تنمو الشعب التخصصية للقسم الهوائى من البروتونيما مكونة سيقانا

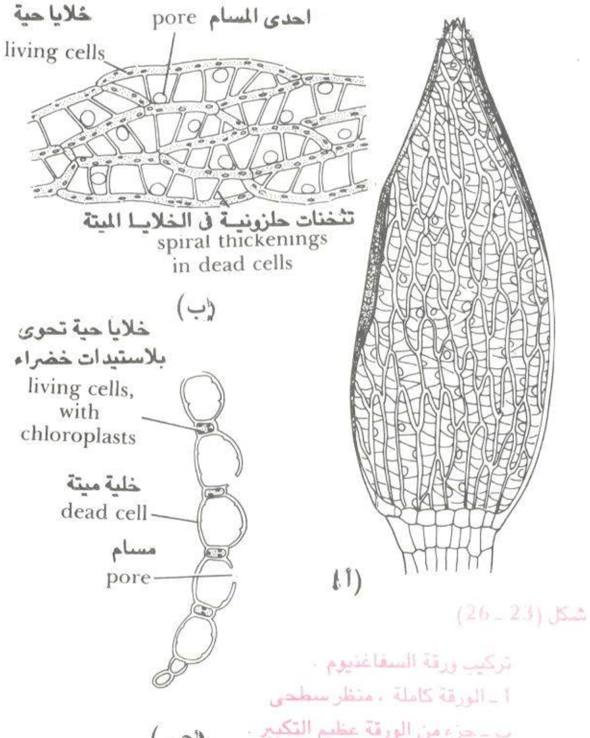


شكل (23 ـ 25) دورة حياة نبات حزازى

ورقية تتميز بالتماثل القطرى وتحمل الاعضاء الجنسية على قمة السيقان المنتصبة وتكون الامشـاج والبيضات والسبرمات، وهى آخر خلايا جيل الطور المشيجى . من البيضـــة المخصبة ـ وهى اولى خلايا الطور السبورى او جيل (2n) ينمو القدم والعنق والكبسولة ، اما خلايا الام السبورية الناشئة داخل الكبسولة فتكون آخر خلايا جيل الطور السبورى ، كما تعود القبعة التى تغطى الكبسولة الناضجة لوقت ما ، الى جيل الطور المشيجى حيث انها نشأت عن الارشيجونة. يوضح الشكل (23ـ25) دورة الحياة الكاملة لواحد من الحزازيات .

الحزازيات الخشبية او المستنقعية : The Peat, or Bog, Mosses

تتمثل هذه الحزازيات وفى جنس وحيد هو السفاغنوم Sphagnum ، الذى يحوى عددا كبيرا من الانواع (350 نوع) . وتتميز الحزازيات الخثية peat mosses بأنها نباتات تنمو فى المساحات الرطبة او المستنقعات الحامضية التفاعل وتنمو النباتات فى مثل هذه الاماكن بصورة طبقات طرية سميكة تغطى مساحات كبيرة احيانا . فى كل من الحزازيات الحقيقية والخثية ، يكون تشعب سيقانها كثيفا يزداد بنموها وتموت الاجزاء الاقدم وتتفسخ جزئيا بينما تنمو الاجزاء الطرفية من سنة الى اخرى . ينتشر السفاغنيوم فى ارجاء العالم ، غير انه يكون وفيرا فى المناطق معتدلة البرودة ، حيث توجد الترب الرطبة وكذلك نسبة الرطوبة العالية ، ودرجات الحرارة المنخفضة نسبيا . يكتسب السفاغنيوم اهمية فى العادة فى مناطق مستنقعات الحشائش muskeg (كندا) والاراضى السبخة moor والمستنقعات bog ، والتندرا tundra . يشكل السفاغنيوم ، اما منفردا او متحدا ، مع البقايا المتحللة جزئيا من النباتات الوعائية



شكل (23 ـ 26)

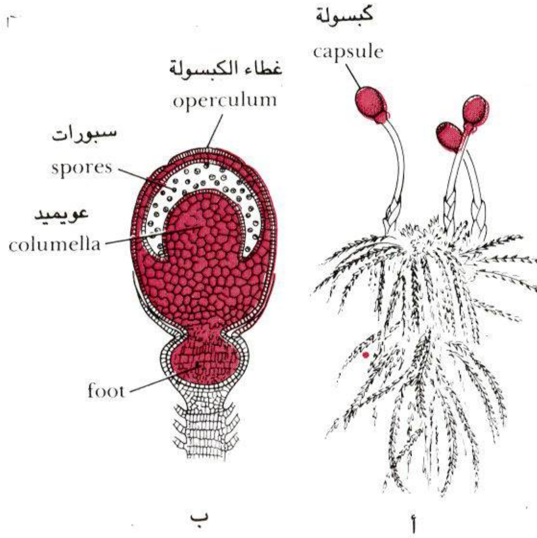
تركيب ورقة السفاغنيوم .
أ ـ الورقة كاملة ، منظر سطحى
ب ـ جزء من الورقة عظيم التكبير .
جـ ـ قطاع عرضى فى جزء من ورقة .

الصغيرة المادة العضوية المعروفة بالخث peat ، التى ربما تتراكم فى احواض تأخذ سُمكاً معتبرا .

اما اوراق السفاغنيوم (شكل : 23ـ26)، فتكون رقيقة ومزدحمة ، اما تركيبها فيكون فى طبقة بسمك خلية واحدة ، وتفتقر الى العرق الوسطى . تكون خلايا الورقة فى نوعين كبير وصغير تأخذ ترتيبا تبادليا فيما بينها متخذة نمطا يشبه الشبكة . تحوى الخلايا الصغيرة بلاستيدات خضراء وكذلك الحال بالنسبة للخلايا الكبيرة عندما تكون فتية ، ولكن عندما تنضج الورقة يختفى كل من الكلوروفيل والبروتوبلازم من الخلايا الكبيرة . تكون جدران الخلايا تثخنات حلزونية او شبه حلقية وتظهر فتحات دائرية على كل من سطحى الجدار العلوى والسفلى . تستطيع هذه الخلايا الكبيرة الفارغة امتصاص كميات كبيرة من الماء بالخاصية الشعرية وبسبب بنيتها ومن ثم تكون نسيجا اسفنجيا من السليولوز الطبيعى .

وبسبب هذه الخاصية جرى الانتفاع بالسفاغنيوم او الحزازيات الخثية فى مجالات مختلفة فعند تجفيفها وتعقيمها ، تستخدم بديلا عن الشاش gauze ، فى التضميد الجراحى . كما تضاف الى التربة الثقيلة او الرملية كمهاد mulch لتحسين بنيتها وكثيرا ما تستخدم كوسط لانبات البذور وكذلك لزراعة العقل . تستخدم كميات كبيرة من الحزاز الخثى فى المشاتل لاغراض نقل الشتلات وفى غير ذلك من الاغراض النباتية .

تتشابه دورة حياة السفاغنيوم مع مثيلاتها فى الحزازيات الحقيقية فيما عدا بعض الاختلافات فى التفاصيل . ينتج السبور عند انباته بروتونيما ، تكون عريضة مفلطحة وليست شبه خيطية وتظهر النباتات المورقة من هذه البروتونيما وتكون خالية من اشباه الجذور ، تكون الاعضاء الجنسية محمولة على فروع جانبية تحت القمة مباشرة من المحور الاصلى . تنمو كبسولة متكورة من البيضة المخصبة (شكل : 23ـ27)، وتتصل الكبسولة عبر قدم بانسجة الطور المشيجى ، تحوى الكبسولة فى فتوتها بلاستيدات خضراء وتكون معتمدة جزئيا فقط على الطور المشيجى فى غذائها . وعند اقترابها من النضوج يختفى الكلوروفيل ويتحول لون الكبسولة من الاخضر الى البنى او الاسود . يوجد عنق ،



شكل (23 ـ 27) السفاغنيوم .
أ ـ نبات مورق يحمل كبسولات .
ب ـ قطاع طولى فى كبسولة ناضجة .

ولكنه لايستطيل عندما تنضج الكبسولة ، يستطيل القسم العلوى الارشيجونة الى اعلى . تتألف الكبسولة داخليا من تجمع قبى الشكل للسبورات تحيط عويميدا ثقية .

التكاثر الخضرى : Vegetative Reproduction

تستطيع جل الحزازيات ان لم يكن كلها الانتشار عن طريق التكاثر الخضرى بجانب تكاثرها بالسبورات . وبهذه الطريقة يتاح للافراد النباتية فرصة تكوين تجمعات كثيفة من النباتات تغطى مساحات معتبرة . توجد طريقتان عامتان للتكاثر الخضرى :

(1) عن طريق تفرع السيقان المورقة ، اذ يمكن لهذه السيقان ان تتفرع عن طريق نشؤ البراعم ونموها وذلك عند قاعدة الساق . وبالتأكيد يمكن لهذه الفروع ان تنفصل من جراء تحلل اجزائها القاعدية ، ومن ثم تصبح نباتات مستقلة ، يمكن لهذه الفروع ايضا ان تتخذ شكل السيقان الممتدة وتكون خالية من الاوراق او يكون ما عليها هو مجرد

اوراق صغيرة وتزحف هذه السيقان على الارض او تحت سطح التربة مباشرة ، ومن ثم تنمو الى اعلى كسيقان مورقة .

(2) عن طريق البروتونيما ربما يستمر البروتونيما الاصلى فى نموه لوقت ما منتجا خلال ذلك عددا من السيقان المورقة . والاهم من ذلك هو انتاج بروتونيما ثانوى secondary protonema ، يكون مثل اصله سببا فى تكوين نباتات مورقة . تتكون البروتونيمات الثانوية بوفرة كفروع لاشباه الجذور الموجودة عند قاعدة السيقان المورقة ، ولكن ربما تنمو ايضا من السيقان مباشرة ، بل وحتى من الاوراق .

دراسات تجريبية على قسم الحزازيات : Experimental Studies on Bryophytes

تعرضت انواع كثيرة من قسم الحزازيات لدراسات كثيرة فى مجالات متعددة شملت الوراثة والفسيولوجيا والخلية . وساعد فى ذلك ان الكثير من انواع هذا القسم تسهل تنميته فى اوساط اصطناعية ومن هنا تمكن العلماء من تفحص ادوار العوامل الخارجية (مثل شدة الضوء وكميته) والعوامل الداخلية (ومثالها ومواد النمو) على نمو النبات وتمايز اجزائه فى مختلف مراحل دورة الحياة . وكل ما ذكرنا يتطلب اساسا اجراء الدراسات المختبرية وكان من أبرز نتائج مثل هذه الابحاث ، اكتشاف ان أنواعا بعينها من هذا القسم تتمتع بتزامن ضوئى محدد بوضوح well defined photoperiodesm ففى بعض انواعها يبدأ تكوين التراكيب المتعلقة بالتكاثر الجنسى اذا ما طال النهار ، بينما تكون فى أنواع اخرى فقط اذ ما قصر النهار . يدخل عدد من الكبديات الثالوسية مثل الماركانتشيا بوليمورفا (Marchantia polymorpha)، والكونوسيفالم كونكم (Conocephalum conicum)، وانواع معينة من الكبديات الورقية تدخل كلها فى مجموعة اليوم الطويل . وبهذا يمكن الحصول على مادة تكاثرية للماركانتشيا بوليمورفا (Marchantia polymorpha)، وتستخدم كثيرا فى الاغراض التعليمية ، وكذلك بالاستعانة بالضوء الاصطناعى فى الشتاء من اجل اطالة النهار . وعلى العكس من الماركانتشيا Marchantia والكونوسيفالم Conocephalum ، نجد ان انواع الريكيا Riccia والانثوسيرس Anthoceros والاسفاغنيوم Sphagnum ، كلها من نباتات اليوم القصير .

تطور قسم الحزازيات وصلات القربى بين افرادها Evolution and Relationships of the Bryophytes

تم العثور على اقدم بقايا حفرية لقسم لحزازيات فى العصر الديفونى الاعلى upper Devonian ، ويتألف من بقايا شحيحة من احد الكبديات الثالوسية ويشابه كثيرا ما يعيش منها الآن . ومن هنا وعلى الرغم من ان انواع قسم الحزازيات تكون بهذا قديمة للغاية ، الا ان حفريات القسم النباتية لم تلق اى ضوء على تاريخ نشوئها وارتقائها ، ومن هنا يكون لزاما علينا ان نتفحص الاشكال الحية كمحاولة لتفهم نشأتها الاولى . فى الفقرات التالية نرسم الخطوط العريضة لمفهوم حديث يتناول بعض احداث نشوء قسم الحزازيات وارتقائه تمثل الكبديات القرنية وكذلك الحزازيات عدة مسارات ارتقائية متفارقة . فربما تكون كل مجموعة مما ذكرنا قد نشأت وتطورت باستقلالية تامة عن اسلاف من طحالب خضراء مائية مختلفة رغما عن احتمال تماثلها لحد ما . ولكنها اشتركت فى خلوها من آفاق تطوير انسجة وعائية فى كل من جيلها . فلقد كان كل من جيلى الطورين المشيجى والسبورى فى كل هذه المسارات الارتقائية فى المراحل المبكرة من الانتقال من الماء الى الارض مستلقين فى الغالب وبصورة مجاميع خضرية قائمة تمتعت بالتماثل القطرى مثلما هى الحال فى اسلاف النباتات الوعائية . ويحتمل ان يكون الجيلان شديدى الشبه فيما عدا وجود السبورات فى واحد منهما والامشاج المتماثلة فى الاخر ، وفى مرحلة لاحقة من هذا الانتقال اصبح الطور السبورى مربوطا بجيل الطور المشيجى ومتطفلا عليه ، علما بظهور ميل فى كلا الجيلين نحو الاختزال . ومن هنا جاء تفسير وجود الكلوروفيل والبلاستيدات فى جيل الطور السبورى للحزازيات والكبديات القرنية ووجود الثغور فى كبسولة الحزازيات والانثوسيروس anthoceros ، بوصفها من سمات الاسلاف وبقايا تم الاحتفاظ بها من الفترة التى كان فيها الطور السبورى نباتا

مستقلا . ومن هنا يمكن النظر الى الطور السبورى للانثوسيروس ، بوصفه الاقل اختزالا من بين كل انواع قسم الحزازيات والسبب فى هذا يكمن فى تشابهه مع سلفه الافتراضى الذى كان عبارة عن محور خلا من اوراق وكذلك بسبب تركيبه المعقد الداخلى ـ بما فى ذلك المرستيم القاعدى الاكيد وكذلك بسبب فترة حياته الطويلة نسبيا . ربما يمكن استكشاف مراحل الاختزال التى مر بها الطور السبورى من بين الكبديات وذلك من الحالة القائمة فى اشكالها الورقية فى وجود القدم والعنق والكبسولة فى الريشيوكاربس Ricciocarpus حيث نجد كبسولة متكورة فقط .

وجسم النبات وهو القسم الرئيسى فى جيل الطور المشيجى لم يكتسب حجما كبيرا ويمكن ان يرجع هذا الى العديد من العوامل ومن بينها الافتقار لمنظومة وعائية ، والقدرة المحدودة على البقاء وغيرها . وفى بعض مسارات الارتقاء انتجت المحاور الخالية من الاوراق (والتى اصبحت الآن على الارجح مختزلة فى حجمها) نموات خارجية اسميناها «بالاوراق» اما تلك الاشكال التى احتفظت بتماثل قطرى فقد خلفت حزازيات عصرنا ، اما المحاور المورقة ونقصد بها اسلاف الكبديات الورقية فقد انشأت تماثلا علويا سفليا وربما لاتكون اسلاف الطور المشيجى للانثوسيروس وكذلك الكبديات الثالوسية ، قد كونت اوراقا ابدا . ومن هنا يمكن النظر الى طورها المشيجى الحديث بوصفه محورا مفلطحا بارزا . وكما سبق ان اشرنا فان الثغور المتحورة قد لوحظت على كل سطحى الطور المشيجى لنوع الانثوسيروس وغيره من الكبديات القرنية . ومن هنا يمكن اعتبار كل انواع قسم الحزازيات التى تعيش الآن مختزلة من هذا المفهوم او الآخر وانها تمثل تتويج مسارات ارتقائية مختلفة لم تنشىء ابدا اى شكل راق من اشكال نباتات الارض . ومن هنا تضاءل مصيرها التى تبؤ خلفية الصورة العامة للنشؤ والارتقاء .

كل ما سبق ان رسمناه من خطوط فى الصورة العامة لارتقاء هذا القسم ما هو الا رجم بالغيب الى حد كبير الا انه يتمشى فى الاساس مع المفهوم العام الذى عرضناه فى الفصل 18 ، من أن ، التغير الارتقائى لايكون دوما مصحوبا بزيادة التعقيد فكثيرا ما يكون مصحوبا باختزال بعض الصفات على الارجح .

قسم الحزازيات وعلم البيئة : Ecology of the Bryophytes

تنمو الكبديات على التربة وعلى الرمال الرطبة والصخور وجذوع وأطراف الاشجار القائمة . كما تنمو أيضا فى الماء وبين الانواع الاخرى من النباتات الحقلية ونباتات المروج والمستنقعات والبرك . وتزدهر بعض الانواع فى مواطن مختلفة ، بينما يتحدد وجود البعض الاخر ببيئات محيطة محدودة وخاصة . فعلى سبيل المثال يرتبط وجود انواع بعينها من الحزازيات بحالة التربة وبذا تتخصص فى النمو اما فى التربة القلوية أو الحامضية .

وعلى وجه العموم تتحمل الحزازيات الظل اكثر من غيرها من الاشكال الراقية لحياة النبات . ويظهر هذا كثيرا فى قابليتها لغزو المروج وازاحة الحشائش والنجيل عن طريقها فى المساحات الظليلة . تتضمن الحزازيات العديد من الاشكال الصحراوية xerophytic forms ، جنبا الى جنب مع الاشكال الوسطية (المعتدلة) mesophytes والمائية hydrophytes على حد سواء . وتتكيف انواع قسم الحزازيات لحد كبير مع درجة الحرارة اذ نجدها تعيش فى المناخات من القطبية الى الاستوائية كما تنمو ايضا بالقرب من الينابيع الساخنة ، علما ، بانها تصل الى أقصى نمولها فى مناطق الغابات الرطبة والباردة مثلما هى الحال فى الساحل الغربى من امريكا الشمالية وكذلك فى الجبال الاستوائية .

وقسم الحزازيات يشكل عنصرا هاما فى نباتات الارض ويلعب بهذا دورا مرموقا فى اقتصاديات الطبيعة ويكون هذا نتيجة جزئية للعدد العظيم من الافراد النباتية . التى تنشأ بالتكاثر الخضرى اذ تكون الحزازيات وفيرة الانتاج لدرجة انها تشكل تجمعات عظيمة أو بسطا تغطى التربة . هناك صفة اخرى ذات مغزى بيئى تكمن فى قدرة الحزازيات على الاحتفاظ بالماء الذى تحبسه بين أوراقها وسيقانها . تشارك حزازيات الغابات الكثيرة السفاغنومات فى مقدرتها على امتصاص الماء عبر اوراقها . وبسبب تراكيبها ونمطها الحياتى تساهم الحزازيات بطرق عدة فى تطويع بيئات تخصها وتناسبها .

لقد سبق أن تعرضنا لاهمية الحزازيات فى انتاج التربة ،

عندما تعقب الاشنات وغيرها من الاشكال الدنيا لحياة النبات فى العيش على الصخور العارية ، وذلك فى الفصلين (15 ، 21) . إن احتفاظ تجمعات الكبديات الورقية والحزازيات النامية على الاشجار الساقطة وغيرها من المواد العضوية ، بالماء يعجل بعمليات تحلل هذه المواد ومن ثم باغناء التربة باضافات عضوية ولكونها لا تمتص من مادة الاساس الا قدراً ضئيلا من الماء نجدها لا تجفف التربة ، بل على العكس تحميها من الجفاف وكنتيجة لقدرتها على الاحتفاظ بالماء تقوم الاحواض الطبيعية للحزازيات بوظيفة الاحواض لبذور النباتات العشبية herbaceous والزهرية الخشبية woody flowering وكذلك المخروطيات .

كما يعود تعطيل تحات (تعرية) التربة erosion الى قسم الحزازيات أيضا فبسط تجمعاتها التى تتخذ شكل الكسوة اللبادية felt like carpets ، تمتلك مقدرة على الاحتفاظ بالماء تكون اكبر بكثير من طبقات الاوراق الميتة . ومن هنا تعمل الحزازيات على كبح سرعة جريان ماء المطر وانصهار الثلوج . علاوة على ذلك فان التجمعات الكبيرة للحزازيات تجمع دقائق التربة وتثبتها فى بعضها . وعلى الرغم من مظهرها غير المرموق كأفراد نباتية الا أن هذه المجموعة تلعب دورها بجانب غيرها من المجاميع الارقى فى حياة النبات ، يتلخص فى صنع وتغيير بيئة الانسان .

الخلاصة : Summary

1 ـ إن قسم الحزازيات وهو واحد من الاقسام المملكة النباتية يتكون من الكبديات والكبديات الورقية والحزازيات وعلى الارجح تكون هذه المجاميع من اقدم المجاميع النباتية وتمثل الفروع غير الوعائية من النباتات الاقدم على الارض ، تلك التى قد تطورت عبر مسار فرعى للنشوّ والارتقاء .

2 ـ يعتبر تعاقب الاجيال واضح التحديد فى هذا القسم فالطور المشيجى أو جيل (n) يبدأ بالسبور . وينشىء الاخير نباتا تتراوح درجة تعقيده بين الجسم شبه الثالوسى فى الريشيوكاربوس ، وبين البروتونيما والمجاميع الخضرية فى الحزازيات . يبدأ الطور السبورى او جيل (2n) من البيضة المخصبة . ربما يكون الطور السبورى بسيطا ، متكونا من كبسولة وخلايا الدم السبورية ، مثلما هى الحال فى الريشيوكاربوس وقد يكون معقدا نسبيا وكثيرا مثلما هى الحال فى القدم والعنق والكبسولة فى الحزازيات .

3 ـ إن جسم النبات وهو التركيب الرئيسى فى جيل الطور المشيجى يكون ضوئى التغذية ، ويكون جيل الطور السبورى معتمدا على جيل الطور المشيجى فيما يحتاجه من ماء وعناصر ضرورية للتغذية ، يكون الطور السبورى فى غالبية قسم الحزازيات قادرا على انتاج جزء مرموق من احتياجاتها الغذائية .

4 ـ تتسم انواع الحزازيات بتقدمها فى طرائق التكاثر اذا ما قورنت بالطحالب وتتضمن هذه الطرائق المتقدمة انشاء اعضاء جنسية عديدة الخلايا ـ الارشيجونات والانثريدات . وبعد الاخصاب يكون الجنين النامى فى ارشيجونة محاطا بانسجة من الطور المشيجى .

5 ـ يكون جسم النبات فى الكبديات الثالوسية للانثوسيروس وكذلك غالبية الكبديات الورقية متمتعا بالتماثل العلوى السفلى ، أما الطور المشيجى للحزازيات فيتمتع بالتماثل الفطرى . تتكون الاعضاء الجنسية لبعض المجاميع قسم الحزازيات على نباتات مختلفة .

6 ـ تكون الامشاج الذكرية متحركة فى كل قسم الحزازيات ولا يحدث الاخصاب الا مع وجود الماء .

7 ـ من بين العوامل المسئولة عن المرتبة الدنيا للطور المشيجى فى قسم الحزازيات افتقارها لنظام وعائى وكذلك مقدرة الطول المحدود على البقاء بسبب وقوع الاخصاب فى محيط من الماء الحر .

8 ـ بسبب مقدرة الكبديا ت الورقية والحزازية على الاحتفاظ بالماء يبرز دورها فى عمليات التحلل والتفسخ وكذلك فى اعاقتها لتحات التربة . وتستخدم أنواع السفاغنيوم فى عمليات نمو النباتات الراقية وتكاثرها .

9 ـ علاوة على التكاثر الجنسى يتكاثر قسم الحزازيات خضريا بطرائق عدة . وتعود للتكاثر الخضرى بدرجة كبرى وفرة وجود الكبديات والحزازيات فى تجمعات كبرى .

السرخسيات
The Ferns


24

السرخسيات
The Ferns

من بين نباتات اليابسة العريقة يظهر مساران للتطور كوّن احدهما الكبديات والحزازيات اللاوعائية ، بينما سارت فى المسار الثانى مجموعة طورت لنفسها منظومة وعائية واصبحت اسلافا للمجموعة الكبرى ، النباتات الوعائية (Tracheophyta) ، وتضم كلا من السرخسيات والحزازيات الصولجانية ونباتات ذيل الحصان Horsetails والمخروطيات Conifers ، وكذلك النباتات الزهرية ، سواء منها الذى مايزال يعيش حتى الان او تلك التى عرفناها من الحفريات . كما تضم هذه المجاميع الغالبية الساحقة من النباتات التى نعرفها الان .

تضم السرخسيات التى تعيش الان حوالى 15000 نوع او تزيد . ولقد صنفت هى ومجاميع اخرى من السرخسيات وكذلك النباتات شبه السرخسية Fernlike Plants ، وذلك فى قسم فرعى هو البتيروبسيدا Pteropsida باليونانية Pteris تعنى سرخس ، بينما تعنى كلمة Opsis المظهر او الشبه ، يتبع النباتات الوعائية (فصل ـ18) وسوف نتعرض للنباتات الوعائية التى تحمل سبورات فى الفصلين (25 ،26) ويتميز العديد من نباتات هذه الاقسام الفرعية (البسيلوبسيدا Psilopsida) والليكوبسيدا Lycopsids والسفينوبسيدا Sphenopsida ، الفصل 18) وتكون اصنافها التى تعيش الان غير معتادة بالنسبة لغالبية الناس . وربما يزداد فهمنا لهذه النباتات الغريبة اذا مادرسنا نظيرها من النباتات الشائعة بين الناس ، والتى يتشابه تاريخ حياتها معها . لقد افرد هذا الفصل بناء على ذلك لدراسة السرخسيات مع الاهتمام بتراكيبها التكاثرية . وبينما تتمتع السرخسيات باختلافات كثيرة ، الا انه من الممكن اكتساب فهم افضل لغالبية صفات مجموعتها عن طريق دراسة انواع فصيلة ثاقب الحجر Polypody Family من رتبة الفيليكاليس Filicales ، (فصل ـ18) ولهذا ستتركز المناقشة فى هذا الفصل على دراسة شكل وتركيب افراد هذه المجموعة بالذات وكذلك دورات حياتها .

بعض سمات الاجناس : SOME GENERAL FEATURES

العمر والتوزيع والموطن : Age, Distribution, and Habitat

تدخل السرخسيات والنباتات شبه السرخسية بين اعرق مجاميع النباتات الوعائية ، لقد وجدت حفريات السرخسيات الاوائل فى صخور العصر الديفونى الاوسط The Middle Devonian ، ويبلغ عمرها التقديرى حوالى 390 مليون سنة . اما باقى النباتات شبه السرخسية فتوجد بوفرة كبيرة فى العصر الكربونى Carboniferous (345 مليون سنة)

حيث ان هذا العصر قد لقب « بعصر السرخسيات » ومع ذلك فإن العديد من اشباه السرخسيات في العصر الكربوني لم تكن من السرخسيات الحقيقية true Ferns ، بل كانت من السرخسيات البذرية seed Ferns (فصل ـ27). ومعظم سرخسيات العصر الديفوني والعصر الكربوني كانت تختلف عن تلك التي تعيش الان ، الا انها تشابهت معها دون ادنى شك في طرق تكاثرها .

تتوزع السرخسيات على مناطق عديدة شاسعة ، فمن المناطق الاستوائية الرطبة الى مناطق ماوراء الدائرة القطبية الشمالية . ويوجد العدد الاكبر من انواعها في المناطق الاستوائية الاكثر رطوبة خصوصا تلك الاكثر ارتفاعا عن سطح البحر . الا ان السرخسيات تزدهر ايضا في المناطق المعتدلة ، فتنتشر في اراضي الغابات والمروج وعلى جوانب الطرق وحواف مجاري المياه ، وتتفاوت حجما ، فمنها ماهو من السرخسيات المائية العائمة الدقيقة الحجم Floating Water Ferns ومنها ايضا الاشجار السرخسية الاستوائية Tree Ferns Of Tropics التي يبلغ ارتفاعها من 7ـ20 مترا التي تحمل تيجانا من الاوراق الضخمة (طول الورقة يتراوح بين 2 الى 4 امتار انظر شكل (24ـ21). لقد وصلت السرخسيات كثيرا في طولها ومعدل نموها الى مصاف النباتات الزهرية ، وتوجد عموما في المواطن الرطبة والظليلة ، غير ان بعضها يقدر على النمو تحت ضوء الشمس الساطع ، بل وحتى في البيئات الصحراوية Xerophytic Environments ربما يكون التكيف مع الظروف البيئية الجافة واضحا في اوراقها الجلدية الخشنة التي تكسوها احيانا طبقة شمعية او حراشف متشابكة . وغالبية سراخس المنطقة المعتدلة تكون من نباتات اليابسة وتنمو فوق التربة او الصخور . غير ان بعض السراخس يكون من المتسلقات Climbers ، والكثير منها ـ ويتخصص بالمناطق الاستوائية ـ يكون من النباتات المعايشة Epiphytes ، التي تقطن ارتفاعات منخفضة بدءا بتلك التي تعيش قريبة جدا من سطح الارض وانتهاء باخرى ترتفع الى كنة الغابة Forest Canopy . وتعتبر القوسيات المعايشة Bracket Epiphytes (Drynaria) التي تقطن المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية من افريقيا وآسيا ، مثالا واضحا على التكيف مع هذا النمط من الحياة اذ تعتبر هذه الانواع من النباتات المعايشة على ارتفاع قليل ، حيث



شكل (24 ـ 1) نبات القوسيات المعايشة (Drynaria sparsisora) ، موطنه استراليا ، لاحظ امتداد اوراقه العريضة والطويلة والترتيب القوسي للاوراق .

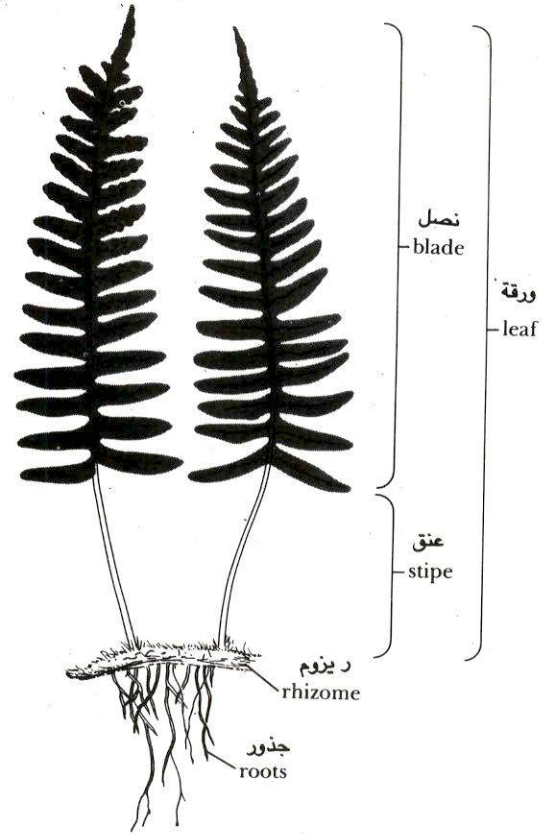
تنمو على جذوع الاشجار . وتحوي هذه الانواع علاوة على الاوراق الكبيرة الخضراء Large Green Leaves (Fronds) ، اوراقا قصيرة قوسية جالسة Sessile Bracket Leaves ، تكون تخصصية وناشئة على سطح الجذع . وتنمو الاوراق الاخيرة فوق الريزوم Rhizome ، وتجمع الدبال ، وتحمي الجذور من الجفاف (شكل 24ـ1) وتكون هذه الاوراق القوسية قوية الامساك بما حولها ، فنجد ان عروقها المتينة التي تبقى حتى بعد تحلل نسيجها الوسطي قابضة على الدبال بواسطة نسيج على هيئة نسيج السلة .

وبسبب اختلاف مواطنها وكثرة اعداد انواعها وافرادها ، يتوجب اعتبار السرخسيات من زاوية أهميتها البيئية ومن بين ادوارها الاخرى نجد انها تساعد على الامساك بالتربة بل وتكوينها ، كما انها يمكن ان تشكل مراحل متعاقبة ومن ثم تساهم فى دورات التحلل العامة . تتواجد السرخسيات باعداد ضخمة بحيث ينتفى وجود غيرها ومن انواع النبات . ويعتبر السرخس القوس (Pteridium aquilinum) مثالا على مانقول ، حيث يكون وريث المراعى والارض الزراعية المهملة فى مساحات ضخمة من العديد من اجزاء العالم .

الشكل الخارجى : External Form

تملك السرخسيات ، مثلها مثل غيرها من النباتات الوعائية ، الجذور والسيقان والاوراق . تعيش السيقان من سنة الى اخرى ومن هنا تكون السرخسيات من النباتات المعمرة . وفى المناخ المعتدل تموت الاوراق عادة فى الخريف ، على الرغم من ان انواعا بعينها تكون دائمة الخضرة . وبينما تكون سيقان بعض السراخس قائمة ، الامر الذى يجعلها شبيهة بالشجرة فى الشكل ، تتخذ فى غالبية الانواع شكل الريزومات . اذ تزحف احيانا فوق اسطح الصخور او جذوع الاشجار ، ولكنها تكون فى العادة مدفونة فى التربة . وتكون هذه الريزومات نحيفة وممشوقة بها استطالة تعلوها اوراق مبعثرة (شكل 24ـ2)، وقد تكون قصيرة مكتنزة ، تحمل اوراقا عنقودية ، تكون الخلايا البرنشيمية للريزومات مملوءة فى العادة بالنشاء ، ومن هنا يصبح الريزوم عضو تخزين فعالا . تتألف المنظومة الجذرية من اعداد كبيرة من الجذور العرضية Adventitious Roots التى تتخذ شكل الاسلاك او الشعيرات ، وتخرج عن الساق .

يتكاثر العديد من السرخسيات خضريا . اذ تتفرع الريزومات الزاحفة عند نموها داخل التربة او سطح الارض . فاذا مات الريزوم عند قاعدته فإن الفروع تواصل حياتها كنباتات مستقلة . وما ذكرناه يكون فى العادة سبيل المستعمرات السرخسية التى تتألف من العديد من الافراد ، فى تكوين نفسها . يكثر عدد بعض انواع السراخس بسرعة فائقة بواسطة التكاثر الخضرى بحيث انها تصنف حشائش برية Weeds ، لقد احرزت اهتماما كبيرا طريقة نمو



شكل (24 ـ 2) جسم نبات السرخس (ثاقب الحجر الشائع Polypodium virginianum)
(اليسار) : السطح السفلى من الورقة .
(اليمين) : سطحها العلوى .

عدد من انواع السراخس التى بمقتضاها يكون الريزوم قصيرا وغليظا بينما تكون الاوراق متزاحمة معنقدة تتشعب فروع الريزومات تدريجيا بصورة شعاعية الى الخارج عن مركز عام ، وكلما ماتت الاجزاء المركزية الاقدم او تفسخت تتكون حولها جماعة نباتية فى هيئة الحلقة . ومثل هذه الحلقات التى تكونها الفطريات الخيشومية لقبت « بحلقات الجنيات » Fairy Rings وربما يصلح نفس المصطلح للسراخس ايضا . لقد لوحظت واحدة من هذه الحلقات كونها سرخس القرفة Cennamon Fern ، حيث بلغ قطرها مايزيد عن الاربعة امتار ، وقدر عمرها بما يزيد عن 300 سنة .



شكل (24 ـ 3) قسم من ورقة نبات سرخسى ، مقسمة الى ريشات ، تكون بدورها مقسمة إلى أجزاء اصغر .



شكل (24 ـ 4) أسلوب نمو أوراق السرخس «الحليات الملوية» لسرخس متقطع من فصيلة الاوسموندا (Osmunda claytoniana) .

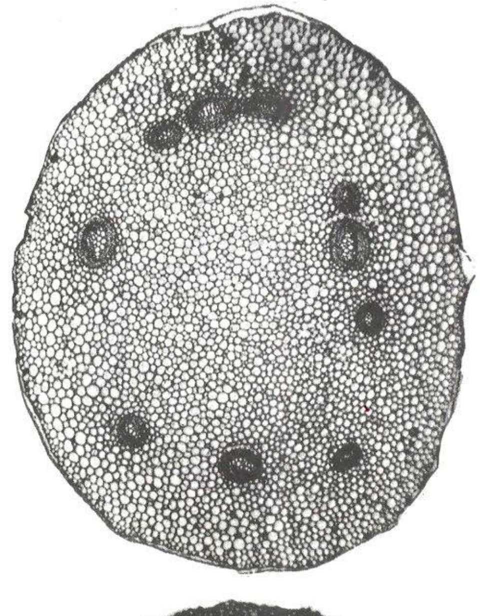
تتكون اوراق السرخسيات (واسمها العام Fronds)، من جزئين : العنق (Stalk Or Stipe) والنصل Blade (شكل 24ـ2).

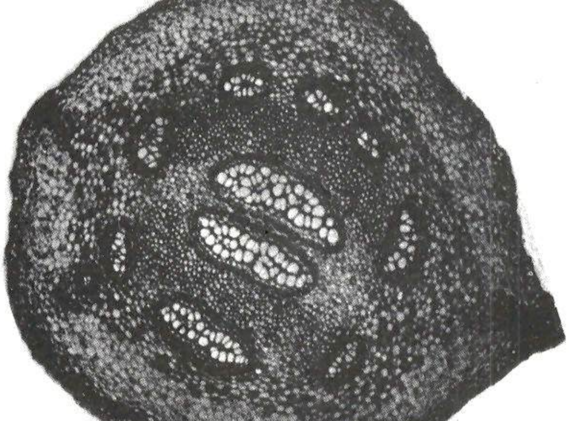
وربما كان النصل بسيطا (أى غير مقسم)، والاكثر شيوعا ان تكون الورقة مركبة ريشية نمطية pinnately compound. كما يكون كل قسم كبير فى نصل هذه الورقة المركبة هو الريشات pinna (شكل 24ـ3)، كما تتكون هذه الريشات بدورها من أقسام فى العادة وقد تكون مقسمة بطرق عدة، والطريقة التى تنمو بها ورقة السرخس، تكون إحدى السمات الاكثر بروزا وتمييزا. فورقة النبات الزهرى تبدأ نموها بطور أولى قصير يتصف بنشاط واحد من المرستيمات القمية apical meristem، ويعقب هذا نمو عام يعم الورقة كلها. اما فى ورقة السرخس فتتكون كل الانسجة مثلما هى الحال فى انسجة الساق، عن طريق نمو قمى مستمر لفترة طويلة. ويكون طرف ورقة السرخس النامية ملتفا على نفسه ومنضغطا كزنبرك الساعة. وكلما استمر النمو استطالت الخلايا بحيث تكون استطالتها اسرع كثيرا فى خلايا السطح الداخلى للورقة بالمقارنة مع مايحدث فى سطحها الخارجى، ويتسبب هذا فى أن ينفرد طرف الورقة بسرعة. تسمى ورقة السرخس غير الناضجة لدى العامة بالملوى Fiddlehead (شكل 24ـ4). وتكون هذه الملاوى للسراخس الكبيرة من بين ابدع مناظر الربيع فى ارض الغابات وقرب البرك. كما يكون انفراد الورقة واحدة من السمات التى تميز أغلب السرخسيات عن غيرها من انواع النباتات الوعائية.

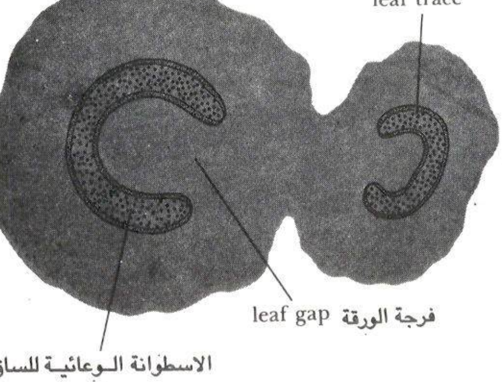
التركيب الداخلى: Internal Structure

ويتخذ التركيب نصل ورقة السرخس، ويظهر ذلك فى قطاعه العرضى، شكلا شديد الشبه بورقة النبات الزهرى. ولكن بسبب ان معظم السرخسيات تنمو فى الظل تكون اوراقها رقيقة فى العادة وتحتوى على فراغات كبيرة بين خلاياها. أما الفرق الشكلى بين النسيجين العمادى palisade والاسفنجى spongy، الذى يميز النباتات الزهرية فلايكون واضحا بجلاء فى السرخسيات.

شكل (24 ـ 5) قطاعات عرضية لسيقان السراخس (ريزومات) (إلى اعلى) : ثاقب الحجر الشائع (Polypodium virginianum) .
(الى اسفل) : سرخس الديشار Brake Fern (Pteridium aguilinum)



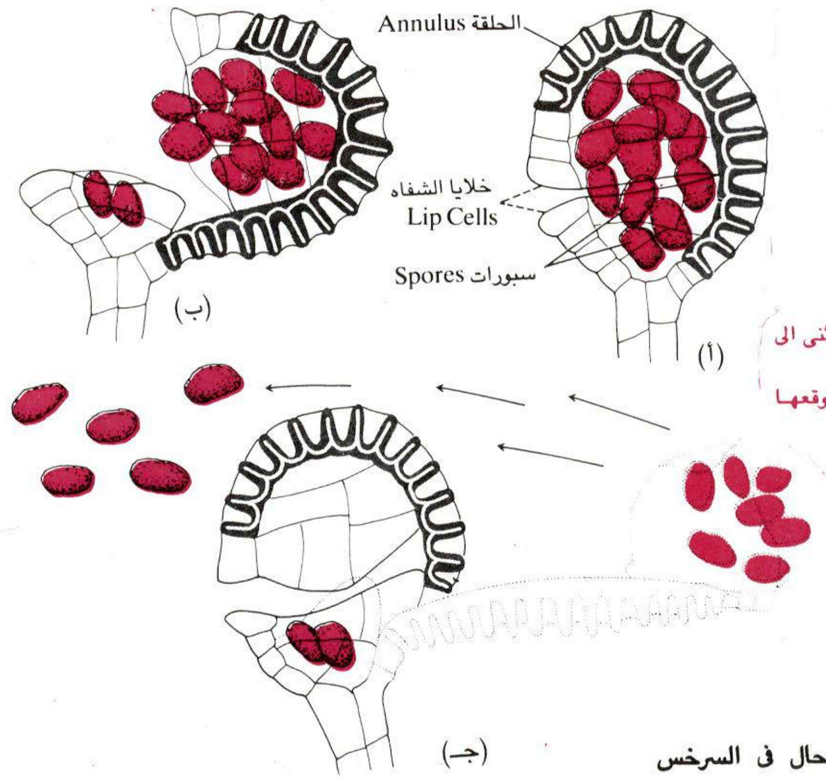




شكل (24 ـ 6) اثر الورقة وفرجتها ، يظهران فى قطاع عرضى لريزوم سرخس (Adiantum, pedatum)

تتباين كثيرا المنظومة الوعائية vascular system للسرخسيات فى الانواع المختلفة الا أنها تحوى اغلب الخلايا والانسجة الموجودة فى سيقان وجذور النباتات البذرية. ففى بعض السرخسيات تكون أنسجتها الوعائية فى الساق مرتبة على هيئة قضيب صلد من الخشب Xylem يحيطه اللحاء phloem. بينما تكون انسجة التوصيل فى انواع اخرى مرتبة فى ترتيب دائرى عناصره هى الحزم الوعائية vascular bundles المنفصلة (شكل 24 ـ 5 الى اعلى). وتكون الحالة الاقل انتشارا وغير النمطية فى ساق السرخس هى تلك الموجودة فى سرخس الديشار bracken fern، حيث تنتشر عدة حزم وعائية فى اللب pith (شكل 24ـ5 الى اسفل). وفى العادة لايكون الكمبيوم cambium موجودا فى السراخس، كما تكون كل الانسجة ابتدائية المنشأ. ويوجد فى ساق العديد من السرخسيات عدد كبير من الخلايا السكلرنشيمية Sclerenchyme cells، وتقع تحت البشرة مباشرة، وقد تكون مصاحبة او قريبة من الانسجة الوعائية وتساهم هذه الخلايا فى اكتساب الساق صلابتها ومتانتها وتعوض بذلك جزئيا عدم وجود الانسجة الثانوية Secondary tissues

وكما هى الحال فى النباتات البذرية تتفرع فروع عن الانسجة الوعائية تصب فى الاوراق عند قواعدها، وتسمى بآثار الورقة Leaf traces. يصاحب آثار الاوراق فرج ورقية Leaf gaps. يمكن الاطلاع على شكل بسيط لاثر الورقة وذلك فى سرخس شعر الارض (كزبرة البئر) maidenhair وعطر القش hay scented، وهى تتألف من حزمة بشكل حدوة



شكل (24 ـ 9)

حافظة سبورية سرخسية أثناء لفظ السبورات .
(أ،ب) الطرف الأعلى لحافظة السبورات قد انثنى الى الوراء بوجود الحلقة وحمل غالبية السبورات معه .
(جـ) ترجع قمة حافظة السبورات فجأة الى موقعها الاصلى ، وقد قذفت بالسبورات الى الهواء .

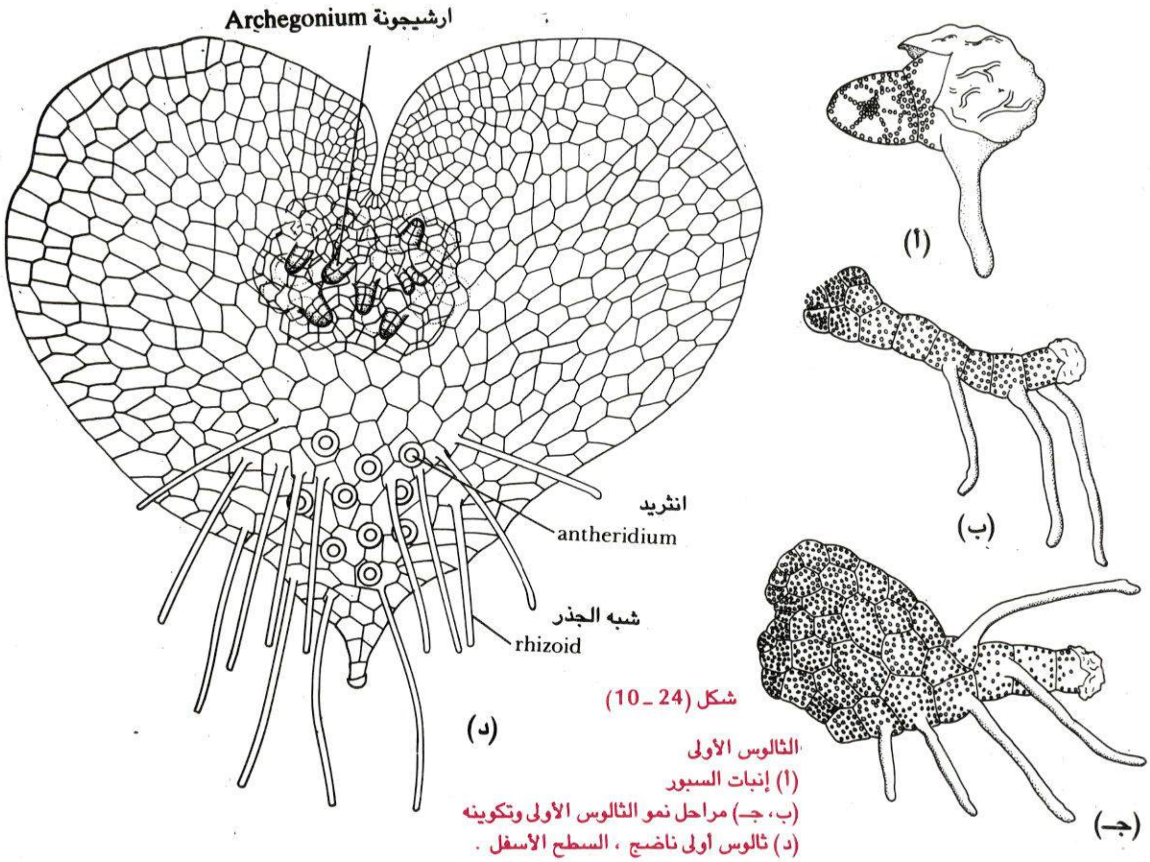
مجموعة اخرى من الانواع كما هى الحال فى السرخس المتقطع interrupted fern. تتمايز بعض الريشات فى انتاج السبورات.

الحافظة السبورية : The Sporangium

تعتبر الحافظات السبورية دقيقة الحجم للغاية بحيث يلزم فحص الواحدة منها تحت المجهر اذا ما اردنا دراسة تفاصيلها او تركيبها . تتكون الحافظة السبورية (شكل 24 ـ 9) من حافظة عدسية الشكل ومفرغة يحملها عنق قصير . كما ان خلايا مسطحة ورقيقة الجدران تشكل الحافظة المذكورة وتحوى عددا من السبورات (64 غالبا) يوجد صف من خلايا سميكة الجدران بشكل ملحوظ ، توصل بين جوانب الحافظة فى تركيب محدب الى اعلى ويغطى حوالى ثلثى الحافظة ويسمى صف الخلايا السميكة بالحلقة annulus ، ويقوم بوظيفة رئيسية اثناء لفظ الحافظة لسبوراتها . ويستكمل محيط الحلقة بخلايا رقيقة الجدران (حوالى ثلث المحيط) تمتد حتى تصل الحافظة . ويطلق على خليتين من هذه الخلايا الشفة Lip cells .

تحتل آلية لفظ السبورات ونشرها فى السراخس مكانا مرموقا فى المملكة النباتية بكاملها فعند حلول الوقت تنفتح الحافظة وتلفظ بقوة مابها من سبورات ، وتسقط الاخيرة اما بالقرب من النبات الام او تحمل جوا بالتيارات الهوائية الى مسافات بعيدة . تتضمن عملية قذف السبورات مرحلتين متميزتين . ففى الأولى (شكل 24 ـ 9 أ و ب) ، تأخذ الحافظة السبورية فى الانفتاح ، ببطء حاملة معها غالبية السبورات الموجودة بها . وتبدأ المرحلة الثانية اذ تأخذ الحلقة وظيفة الزنبرك بان تتحرك بسرعة كبيرة الى الامام مرة اخرى ومن هنا تقذف ما عليها من سبورات فى الهواء (شكل 24 ـ 9 جـ) .

تتسبب الحلقة فى انفتاح حافظة السبورات فجدران الحلقة الخارجية والجانبية تكون رفيعة ومرنة بينما تكون جدرانها الداخلية سواء المماسية ام القطرية مثخنة الى حد كبير . عندما تنضج الحافظة السبورية تكون كل خلايا الحلقة ممتلئة بالماء ، ويكون عندها الهواء جافا ومن هنا يميل الماء الى التبخر من خلال الجدران الخارجية والجانبية الرقيقة . ولا يمكن تعويض الماء المفقود بالتبخر ، ومن هنا يقل المحتوى المائى لخلايا الحلقة .



شكل (24 ـ 10)

الثالوس الأولى
(أ) إنبات السبور
(ب، جـ) مراحل نمو الثالوس الأولى وتكوينه
(د) ثالوس أولى ناضج ، السطح الأسفل .

هناك قوتان تؤثران على خلايا الحلقة تتمثلان فى قوة التماسك والالتصاق الرابطة بين جزيئات الماء ثم قوة التصاق الماء بجدران الخلية تمنع قوى التماسك للماء من التفكك ومن ثم تكوين فقاقيع بخارية . بينما تتسبب قوة التصاق الماء بالجدران فى شد الجدران الى الداخل . ومن هنا تسحب الجدران الخارجية الرقيقة للحلقة الى الداخل . ويسبب هذا شد الجدران القطرية السميكة فى الحلقة الى الوراء ونتيجة لهذا الاجهاد تنفرج الحافظة السبورية فاصلة خلايا الشفاه عن بعضها . وتتمزق الجدران الجانبية للحافظة السبورية وتبدأ الحلقة فى الانفراد ببطء والانثناء الى الوراء حيث تحمل اثناء حركتها جل المحتوى السبورى وذلك ضمن كأس تتكون من الجدران الجانبية للحافظة السبورية ومع استمرار الماء فى التبخر من خلايا الحلقة يتم التوصل الى نقطة يكون عندها الماء الموجود بالخلايا غير قادر على مقاومة الشد المتزايد الواقع عليه من جانب الجدران السميكة القطرية المرنة وينقطع الماء فى احدى الخلايا وتسبب الصدمة الناتجة تكوين فقاعة بخارية فى كل خلية من خلايا الحلقة ويقل بذلك الشد على الجدران القطرية المرنة ومن ثم ترتد زنبركيا الى موقعها الاصلى ونتيجة لذلك تلتف قمة الحافظة السبورية بسرعة لا تستطيع العين اداركها وتقذف ما تحويه من سبورات فى الهواء لمسافة تتراوح بين 25 ـ 50 مليمتر بحيث يمكن ان تحملها تيارات الهواء بعيدا .

الثالوس الاولى : The Prothallus يمتص السبور الماء اذا ما توفرت له الظروف المناسبة . وتتحطم جدرانه ومن ثم يتكون الثالوس الاولى وهو اول خلايا جسم النبات الجديد . يتسبب انقسام الخلية المتكرر فى ان يتكون بسرعة شريط يصبح مرتبطا بالتربة بسبب تكوين عدد من اشباه الجذور عديمة اللون (شكل 24 ـ 10 أ ، ب). وفيما عدا اشباه الجذور تكون خلايا الثالوس الاولى خضراء وبذا تكون التغذية ضوئية. تتجه متابعة انقسام الخلايا الى ان تكون محلية Localized عند قمة الشريط (شكل 24 ـ 10جـ) .

الحصان، من انسجة التوصيل، كما يظهر ذلك فى المقطع العرضى (شكل 24 ـ 6)، وفى انواع اخرى يوصل اثنان او اكثر من آثار الورقة بين الانسجة الوعائية للساق وبين تلك العائدة للورقة.

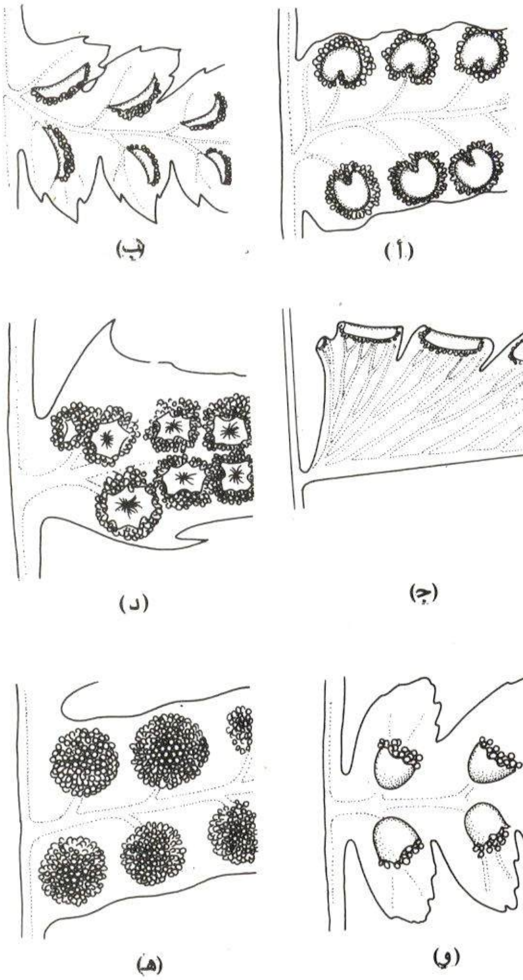
دورة حياة السرخسيات: The Life Cycle of Ferns

تحوى دورة حياة السرخس مثل غيره من النباتات التى تتكاثر جنسيا جيلين متعاقبين. فنبات السرخس الكبير والمورق، وهو الجزء البارز من جيل الطور السبورى، يحمل سبورات تقع على الارض. ويتولد عن إنبات احد السبورات ظهور نبات لايشابه الطور السبورى، يتخذ هيئة جسم على شكل قلب، يكون صغيرا مفلطحا واخضر هو الثالوس الاولى prothallus. والثالوس الاولى هذا الذى يحمل الاعضاء الجنسية والامشاج هو التركيب الاساسى لجيل الطور المشيجى. فبعد إخصابها تنشىء البيضة نباتا سرخسيا جديدا، يتنامى الى ان يصل الى البلوغ وحمل السبورات.

كان تاريخ حياة السرخسيات غامضا حتى جاء منتصف القرن التاسع عشر فشرح عالم النبات، الالمانى ولهلم هوفميستر Wilhelm Hofmeister تاريخ حياة السرخسيات ولم تكن السبورات قد اكتشفت حتى عام 1669، وكذلك التنبؤ بأهميتها فى دورة الحياة، وحتى بعد اكتشافها لم يتم فهمها حينذاك. كانت السرخسيات فى العصور الوسطى ومابعدها محط الكثير من الخرافات والاعتقادات، وعلى سبيل المثال كان هناك معتقد سائد يقول انه اذا جمعت «بذور (اى سبورات) انواع بعينها من السراخس فى عشية عيد القديس يوحنا (23 يونيو) ومن ثم وضعت فى الاحذية فان لابس هذه الاحذية لايلبث ان يصبح إنسانا خفيا (اى غير مرئى) ولقد عكس الشاعر شكسبير هذا المفهوم فى روايته الملك هنرى الرابع، عندما قال: «لدينا القدرة على التجول دون ان يرانا احد، فلدينا وصفة بذور السرخس».

البثرات واغطيتها: Sori and Indusia

إذا ما لوحظ الطور السبورى عن قرب فان الاعضاء التخصصية المنتجة للسبورات قد تبدو واضحة. تنتج



شكل (24 ـ 7) سلاسل البثرات السبورية واغطيتها فى السرخسيات.

(أ) : السرخس الحافى Marginal Shield Fern (Dryopteris marginalis)

(ب) : سرخس السيدة Lady Fern (Anthyrium filixfemina)

(جـ) : سرخس شعر العذراء Maidenhair (Adiantum pedatum)

(د) : سرخس غطاء كاذب Christmas Fern (Polystichum ocrostichoides)

(هـ) : السرخس البصلى Bulbet Fern (Cystopteris bulbifera

(و) : سرخس ثاقب الحجر الشائع الخالى من الغطاء Common Polypody (Polypodium virginianum)

سبورات السرخس دائما داخل حاويات متعددة الخلايا هى الحوافظ السبورية Sporangia. تتولد الاخيرة فى عناقيد فى العادة. كما تكون فى معظم السراخس محمولة على سطح الورقة السفلى. بفحص ظهر الورقة بالعين المجردة او بعدسة مكبرة يدوية سوف تظهر عناقيد صغيرة سوداء او بنية، تتألف من العديد من الحوافظ السبورية. ويسمى كل واحد من هذه العناقيد بالبثرة Sorus (شكل 24ـ7)، كما يسميها العوام ايضاً «بنقطة الثمرة» Fruit dot يعتقد الكثير من الناس، ان البثرات ماهى الا شكل من الحياة الحشرية يعتبر ضارا بدورة الحياة العادية للنبات، ولكنها بطبيعة الحال جزء من دورة الحياة الطبيعية. توجد البثرات فى تراتيب مختلفة على سطح الورقة، وربما توجد بالقرب من الحافة أو مبعثرة على سطحها، او تترتب فى صفين يتخذ كل واحد منهما مكانه على طول أحد جانبى العرق الوسطى للريشة اما اذا كانت الريشة مقسمة الى أقسام فرعية، فان تلك الصفوف تتخذ مكانها على احد جانبى الاقسام الفرعية.

ويصاحب البثرات هذه فى الكثير من انواع السراخس تراكيب غشائية رقيقة تدعى باغطية البثرات indusia (شكل 24ـ7) وتنشأ كنموات خارجية من سطح الورقة. يختلف شكل الغطاء باختلاف الانواع والاجناس وبذا يكون سمة هامة اثناء التحديد والتعريف. وربما يتخذ الغطاء شكلا دائريا او شكل الكلية، ويكون متصلا بالورقة بعنق وسطى Central Stalk. كما يمكن ان يستطيل ويرتبط بالورقة على طول احد جانبيه مشكلا مايشبه قلنسوة البرنس hood. وفى العادة يغطى الغطاء البثرة كلها عندما يكون فتيا على اقل تقدير، وبذا يفترض وظيفته الحماية. تحتوى بعض الانواع تركيب يسمى بالغطاء الكاذب False indusium، الذى يتكون من التفاف حافة الورقة على نفسها

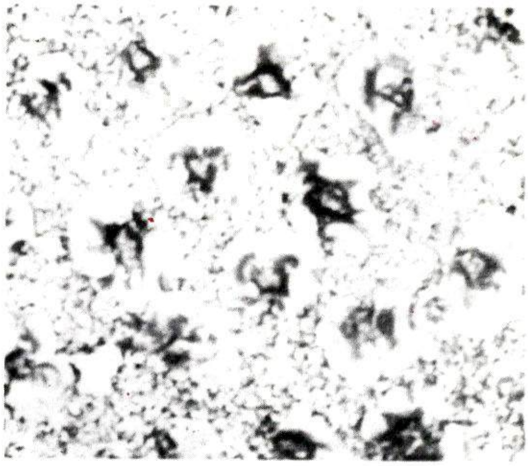
ازدواجية الهيئة: Dimorphism

يمكن التعرف فى الكثير من السراخس على نوعين من أوراقها. واحد النوعين هو الورقة السبورية sporophyll وتعرف ايضا باسم الورقة الخصيبة Fertileleaf. لانها تحمل الحوافظ السبورية. وعلى العكس يكون النوع الاخر هو الورقة العقيمة Sterile leaf، لكونها لاتحمل حوافظ سبورية.



شكل (24 ـ 8) ازدواجية الهيئة فى سرخس Crested Wood Fern (Dryopteris cristata)
(الى اليسار) : ورقة خصيبة .
(الى اليمين) : ورقة عقيمة ، يتمتع النوعان من الأوراق بالقدرة على البناء الضوئى ، ولكن الورقة الخصيبة وحدها هى التى تحمل الحوافظ السبورية .

وبذا تنحصر وظيفتها فى النشاط الخضرى وحده. وتسمى الحالة التى يحمل فيها النبات الواحد نوعين من الاوراق ـ خصيبة وعقيمة بحالة ازدواجية الهيئة dimorphism، وفى بعض انواع السراخس لايوجد الا القليل من الفروق الشكلية بين الاوراق الخصيبة والعقيمة. اذ يكون النوعان متمتعان بالقدرة على البناء الضوئى، علاوة على ان الورقة الخصيبة تحمل الحوافظ السبورية (شكل 24ـ8). وفى انواع اخرى وتلقب بشديدة ازدواجية الهيئة strongly dimorphic، تفقد الورقة الخصيبة كليا مقدرتها على مزاولة البناء الضوئى، وتكتسب الكثير من التحورات ممايفقدها قسما كبيرا من تشابهها مع الورقة (انظر شكل 24ـ18). وفى

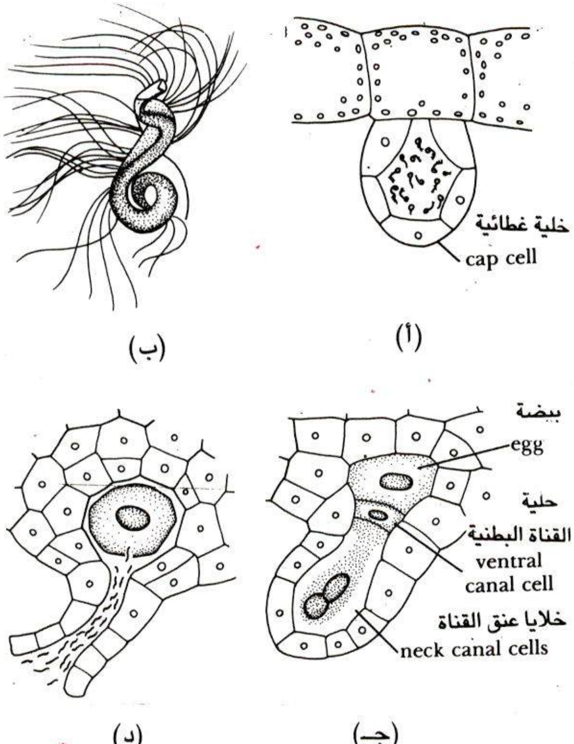


شكل (24 ـ 11) ثالوسات أولية سرخسية تنمو على التربة

وبعد متابعة النمو لعدة اسابيع يتكون جسم النبات ويكون جسما على شكل قلب مسطح اخضر، ربما يصل قطره الى حوالى 6 مليمتر، وهذا الجسم الناشىء هو الثالوس الاولى الناضج او الطور المشيجى (شكل 24 ـ 10 د). وينمو مضغوطا بشدة على التربة (شكل 24 ـ 11) . ويكون الثالوس الاولى فى قسمه الاكبر بسمك خلية واحدة بينما يكون جزؤه المركزى تحت ما يسمى بالجيب sinus او الفرجة مباشرة فيكون سمكه عدة خلايا مكونا ما يشبه الوسادة cushion . يحمل الثالوس الاولى الاعضاء الجنسية واشباه الجذور على سطحه الاسفل (شكل 24 ـ 10 د) ملتصقة بالتربة . توجد الثالوسات الاولية عادة فى البقع الظليلة الرطبة اذ يسهل ان يقتلها الجفاف .

الاعضاء الجنسية : The Sex Organs

تكون الاعضاء الجنسية سواء الارشيجونات ام الانثريدات متعددة الخلايا (شكل 24 ـ 12)- تحوى كل ارشيجونة بيضة واحدة وينشأ عدد من السبرمات فى كل انثريد . فى معظم السرخسيات تنمو الانثريدات والارشيجونات على نفس الثالوس الاولى . واذا ما نمت الثالوسات الاولية بتجاور كثيف فان ذلك قد يسبب تكوين الانثريدات وحدها . وعلى أية حال تظهر الانثريدات فى العادة اولا ويكون عددها كبيرا عند المنطقة القاعدية من الثالوس الاولى ، وتكون مبعثرة بين اشباه الجذور، الانثريدات



شكل (24 ـ 12) الأعضاء الجنسية والإخصاب .
(أ) انثريد
(ب) سبرم
(جـ) ارشيجونة
(د) الإخصاب

تشبه الاقبية وتظهر ناتئة من السطح .

يتألف الانثريد الناضج (شكل 24 ـ 12 أ) من غلاف من خلايا تحيط التجويف الذى يحوى السبرمات . تلتف السبرمات حلزونيا على نفسها وتكون مزودة باسواط عديدة (شكل 24 ـ 12 ب) . يتألف الغلاف الانثريدى من ثلاث خلايا بسمك طبقة واحدة فقط .

تغلف خليتان منها الانثريد تماما ، بينما تكون الثالثة

وهى الخلية القمية بمثابة غطاء . تقع الارشيجونات اساسا على التثخن المركزى للثالوس وبالقرب من الشق notch . تكون الارشيجونة مماثلة لنظيرتها فى قسم الحزازيات قارورية الشكل Flask – shaped . وتتالف من قسم قاعدى منتفخ يكون مدفونا فى نسيج الثالوس الابتدائى، وعنق يبرز عن السطح (شكل 24 ـ 12 جـ) . يحوى القسم القاعدى بيضة كبيرة علاوة على خلية اخرى تسمى بالخلية البطنية للقناة Ventral canal cell ، تعلو البيضة مباشرة ، عند قاعدة العنق، اما العنق فيتكون من غلاف خلوى cellular Jacket ، يحيط بصف مكون غالبا من اثنتين (وقد يكون مكونا من ثلاث او اربع) من خلايا قناة العنق neck canal cells ، لا تفصل بينها جدران خلوية .

يتم الاخصاب عند توفر الماء بين السطح السفلى للثالوس الاولى والتربة . اذ يمتص الانثريد الماء ومن ثم ينتفخ . اما الخلية القمية فاما ان تميل الى اعلى او تنفصل وبهذا تتاح للسبرمات فرصة الهروب . كما تمتص الارشيجونة الناضجة الماء ايضا . وتنفصل كل من الخلية البطنية وخلايا عنق القناة عن عنق الارشيجونة ومن ثم تبرز للخارج من خلال تمزق الخلايا الطرفية المحطمة فى العنق . تنجذب السبرمات بواسطة افراز منتشر diffusible secretion سابحة باتجاه فم الارشيجونة وتهبط فى قناتها ، لتصل الى البيضة (شكل 24 ـ 12 د) وعلى الرغم من ان عددا من السبرمات قد يتمكن من دخول الارشيجونة فإن واحدا منها فقط يستطيع ان يخترق البيضة ويندمج معها ، ومن ثم يتكون الزيجوت zygote . كثيرا ما يحدث ان يتم اخصاب اكثر من بيضة واحدة على نفس الثالوس الاولى ، ولكن لا ينمو الا نبات واحد منها فقط فى العادة مكونا نباتا قادرا على البقاء مستقلا .

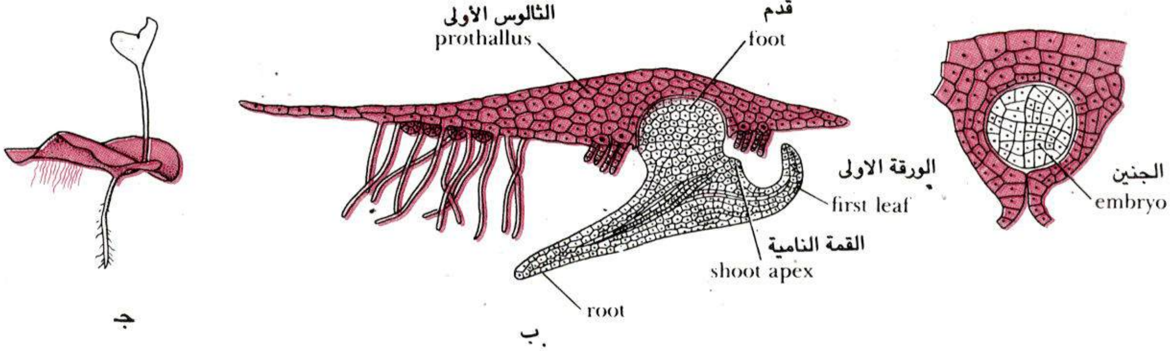
يعتبر انتاج السبرمات المتحركة وكذلك ضرورة وجود الماء لكى تتم عملية الاخصاب فى السراخس من الدلالات الهامة من ناحية النشوء والارتقاء . فالسراخس كمجموعة تعتبر انواعا نباتية متقدمة الى حد ما ، اذ تملك جسما نباتيا عالى التنظيم وتاريخا عريقا لبقائها وتطورها ، ولكن رغما عن توطنها على اليابسة فهى تعتبر ايضا من زاوية معنية برمائية فى اسلوب حياتها . فمن جانب نجدها تعتمد على البيئة الارضية فى بقائها الخضرى وكذلك فى تحريرها ونشرها لسبوراتها ومن جانب آخر تكون مثل اسلافها الطحلبية معتمدة على الماء كوسط ترتاده السبرمات للوصول الى البيضة . تصور دورة حياة السرخس من جديد لاستعادة سمات الاسلاف ancestral features ، اذ ان هذه النباتات قد استعادت فى تاريخ نمو افرادها ontogeny السبرمات المتحركة التى صاحبت النشاط الجنسى لاسلافها المائية .

ليست السرخسيات فريدة بين النباتات الوعائية الحية الان فى استرداد مثل هذه الصفة الموروثة البدائية Primitive hereditary feature، اذ ان السبرمات السابحة توجد ايضا فى نباتات سبورية اخرى وكذلك فى مجاميع عدة من النباتات البذرية المتقادمة. ربما ينظر الى هذا الاسلوب المائى للاخصاب كصفة مميزة لنباتات الارض العريقة، قد استعادتها السرخسيات وانواع بعينها من النباتات عبر التاريخ. توجد حالة اخرى مماثلة تقريبا فى العادات الخلطية breeding habits لبعض البرمائيات Amphibians، مثل الضفدعة والعلجوم (ضفدع الطين) toad وكذلك السمندر (حيوان) Salamander وعلى الرغم من ان هذه الحيوانات تكون ارضية، وحتى شجرية عند بلوغها، الا انها تضع بيضها فى الماء حيث يمر خلفها الاول progeny خلال مراحل يرقية Larval stages. هذا مع العلم بان البرمائيات قد خرجت من الماء وبدأت حياة ارضية متأخرة الى حد ما بالنسبة للعصور الجيولوجية، وبالمقارنة بالرعيل الاول من النباتات الارضية، فلقد احتفظت هذه الحيوانات مثلها فى ذلك مثل السراخس فى اطوار معينة من دورات حياتها باسلوب الاسلاف فى الحياة.

الجنين والطور السبورى الفتى: The Embryo and the Young Sporophyte

تبقى البيضة المخصبة فى قاعدة الارشيجونة وتتطور الى كتلة كروية من الخلايا (شكل 24 ـ 13أ). ومع استمرار عملية النمو ينشأ عن هذا الجنين الاعضاء الخاصة بالطور السبورى الفتى، وهى بالتحديد القدم والورقة الاولى والساق والجذر الابتدائى (شكل 24ـ13ب). وتكون القدم اول الاعضاء ظهورا وتنشأ عن انقسام خلايا القسم العلوى للجنين، وتنمو متجهة الى اعلى مارة بين خلايا الثالوس الاولى ومنها تستمد غذاءها.

ومن مناطق اخرى فى الجنين تنمو بتتابع سريع الورقة الاولى والجذر الابتدائى، ثم تعقبهما الساق الجنينية embryonic stem. يكون الطور السبورى الفتى فى البداية معتمدا على انسجة الطور المشيجى بالنسبة لاحتياجاته من ماء وغذاء. وسرعان ماتبزغ الورقة الاولى والجذر من ثم تنمو

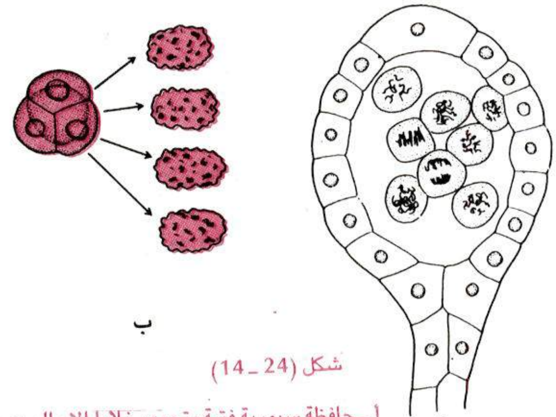


شكل (24 ـ 13) الجنين والطور السبورى الفتى . (أ) ارشيجونة متضخمة تحيط بالجنين (ب) قطاع فى ثالوس أولى وكذلك الطور السبورى الملتصق بـه يكون الطـور السبورى فى هـذه المرحلـة معتمداً عـلى الثالوس الاولى . (جـ) الطـور السبـورى يصبـح مستقـلا عن الثـالـوس الأولى .

الورقة الاولى الى اعلى مجتازة الشق الموجود فى الثالوس الاولى، ثم تمتد وتكتسب اللون الاخضر، يخترق الجذر التربة ويصبح الطور السبورى فى هذه المرحلة نباتا مستقلا (شكل 24 ـ 13جـ). يعقب الورقة الابتدائية primary leaf، التى لاتعمر طويلا، سلسلة من اوراق تزداد حجما وتعقيدا. عندما تنشأ الاوراق الثانوية Secondary Leaves، يتقلص الثالوس الاولى ويختفى فى النهاية. تحل الجذور العرضية محل الجذر الابتدائى بسرعة علما بان الجذور العرضية تنشأ عن الساق. تستمر معظم السراخس فى النمو لعدة سنوات قبل ان يتم بلوغها وتصبح قادرة على انتاج ارشيجونات وسبورات.

تعاقب الاجيال: Alternation of Generations

لقد وصفنا طورين متباينين فى دورة الحياة. واولهما هو الطور السبورى الذى يحمل السبورات، اما الثانى وهو الطور المشيجى فيحمل الامشاج والاعضاء الجنسية ويكون الطور السبورى طويل العمر. وينتظم فى جذور وساق وورقة ويملك نظاما تخصصيا فى أنسجة التوصيل، اما الطور المشيجى فيكون قصير العمر نسبيا يتخذ شكلا شبه ثالوسى ويفتقر الى الانسجة الوعائية. يملك الطور المشيجى القدرة على انتاج



شكل (24 ـ 14)

أ ـ حافظة سبورية فتية وتحوى خلايا الام السبورية .
ب ـ رباعية سبورية وسبورات ناضجة .

غذائه ويكون هذا صحيحا ايضا بالنسبة للطور السبورى فى غير مراحله الاولى عندما يكون معتمدا فسيولوجيا على الطور المشيجى.

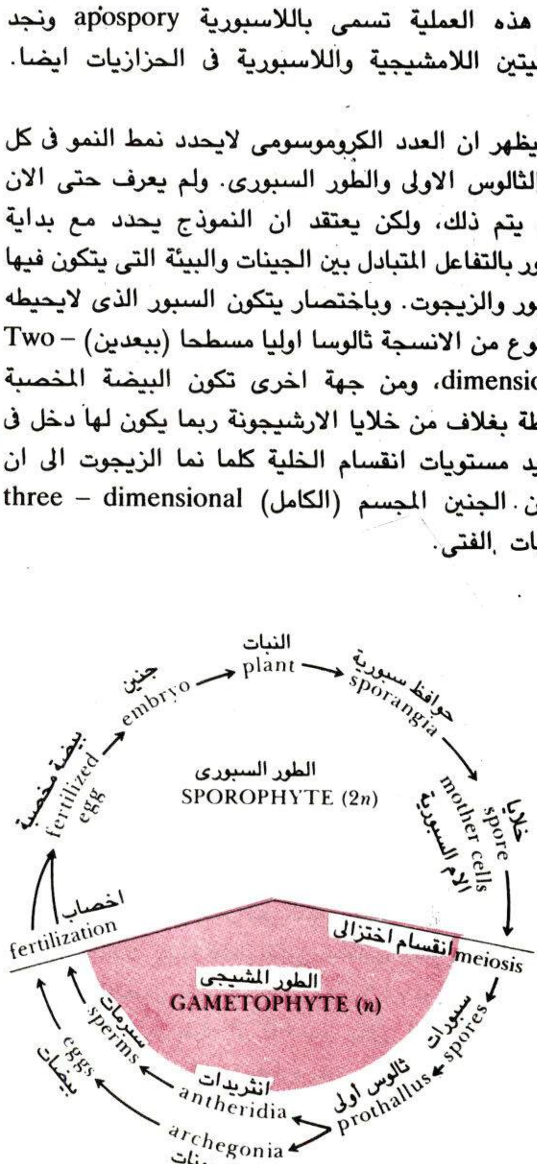
يمكن ان نبدأ دراستنا لدورة حياة السرخس من وجهة نظر الطورين، ثنائى المجموعةً الكروموسومية واحادية المجموعة الكروموسومية من خلايا الأم السبورية Spore mother cells، الناتجة داخل الحافظة السبورية الفتية (شكل 24 ـ 14 أ). يختلف عدد مثل هذه الخلايا باختلاف الانواع، غير ان الاعداد الشائعة هى 16،12. تحوى خلايا

الام السبورية عددا كروموسوميا ثنائيا (2n) وتعود الى جيل الطور السبورى. تتعرض كل واحدة من خلايا الام السبورية عند بلوغها الى انقسامين اختزاليين لكى تكون رباعية سبورية (من اربع سبورات) (شكل 24 ـ 14ب)، ومن هنا ينشأ عن الـ 16 خلية ام سبورية 64 سبورا تحوى هذه السبورات العدد الكروموسومى الاحادى (n) haploid chromosome number ومن ثم تكون اولى خلايا جيل الطور المشيجى. ينشىء السبور ثالوسا اوليا تكون كل خلاياه بما فى ذلك الاعضاء الجنسية والامشاج احادية المجموعة الكروموسومية.

عندما يندمج السبرم بالبيضة يتضاعف العدد الكروموسومى وتصبح البيضة المخصبة هى اولى خلايا جيل الطور السبورى (2n) الجديد. وتكون بذلك كل خلايا نبات السرخس بما فى ذلك جذره وساقه واوراقه وحوافظه السبورية وخلايا الام السبورية فيه ثنائية المجموعة الكروموسومية وبهذا يدخل فى دورة الحياة الاعتيادية للسرخس (شكل 24ـ15) اختلافات فى العدد الكروموسومى لجيليه المتعاقبين. وتبدأ هذه الاختلافات عند الاخصاب واثناء الانقسام الاختزالى داخل الحافظة السبورية اللامشيجية واللاتزاوجية واللاسبورية Apogamy and Apospory. بما ان جيل الطور السبورى يكون (2n) فى دورة الحياة العادية ويكون جيل الطور المشيجى (n) يمكن افتراض ان العدد الكروموسومى هو السبب فى ظهور الاختلافات التركيبية الكبيرة بين هذين الجيلين. وتتوفر شواهد على عدم صحة هذا الفرض فى الملاحظات التالية:

لقد لوحظ فى عدد من السرخسيات سواء فى الظروف الطبيعية ام فى المزارع المختبرية ان الثالوس الاولى قادر خضريا على انتاج الطور السبورى، اذ يمكنه ان ينشىء مجموعة خضرية وطرفا جذريا من الانسجة الموجودة فى المنطقة المثخنة من الارشيجونة بالقرب من الشق، ينمو الجنين الناتج مكونا نباتا مورقا. وبطبيعة الحال يكون النبات احادى المجموعة الكروموسومية. وحيث لايكون للامشاج دخل فى انتاج الطور السبورى، تسمى هذه العملية باللامشيجية apogamy (بدون امشاج). وبالمثل يعرف فى العديد من الانواع عن النبات (2n) انه يكّون، طبيعيا واصطناعيا، ثالوسيات اولية خضرية تحوى عددا كروموسوميا (2n). تنشأ مثل هذه الثالوسات الاولية من حواف او اعناق الاوراق petioles الفتية الغضة، او حتى من حواف الاعناق الناضجة. كما تنتج الخلايا الظاهرية تراكيب شريطية تنمو مكونة تراكيب قلبية تحوى اعضاء جنسية ونظرا الى ان هذه الثالوسات الاولية لم تتكون عن سبورات، فان هذه العملية تسمى باللاسبورية apospory ونجد العمليتين اللامشيجية واللاسبورية فى الحزازيات ايضا.

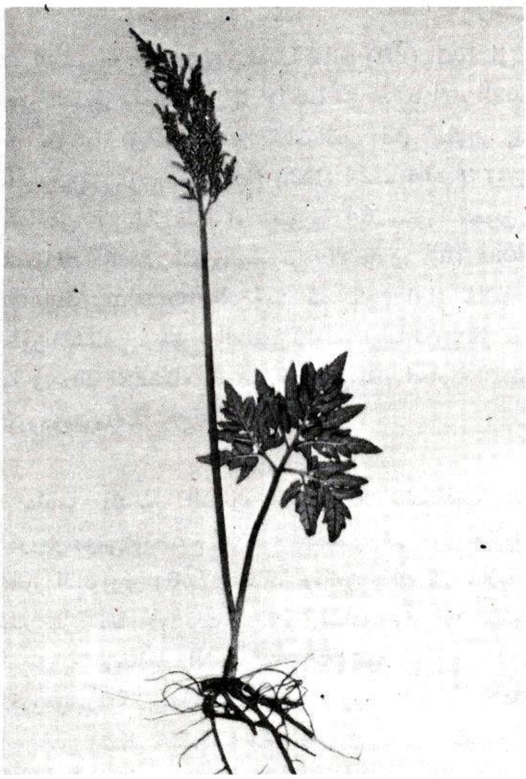
ويظهر ان العدد الكروموسومى لايحدد نمط النمو فى كل من الثالوس الاولى والطور السبورى. ولم يعرف حتى الان كيف يتم ذلك، ولكن يعتقد ان النموذج يحدد مع بداية التطور بالتفاعل المتبادل بين الجينات والبيئة التى يتكون فيها السبور والزيجوت. وباختصار يتكون السبور الذى لايحيطه اى نوع من الانسجة ثالوسا اوليا مسطحا (ببعدين) – Two dimensional، ومن جهة اخرى تكون البيضة المخصبة محاطة بغلاف من خلايا الارشيجونة ربما يكون لها دخل فى تحديد مستويات انقسام الخلية كلما نما الزيجوت الى ان يتكون الجنين المجسم (الكامل) three – dimensional والنبات الفتى.



شكل (24 ـ 15) دورة حياة السرخس

التطور والتنوع فى السرخسيات: Evolution and Diversity of Ferns

تطورت السرخسيات منذ نشأتها مع بداية العصر الجيولوجى القديم paleozoic time فى مسارات متشابكة للنشوء والارتقاء سببت علاقاتها الكثير من النقاش. فبينما ترتبط بعض المجاميع الحية بعلاقة ما مع اشكال متشابهة كانت تعيش فى العصر الكربونى، تعتبر مجاميع اخرى اكثر حداثة بحيث يرجح انها نشأت فى العصر الجيولوجى الوسيط Mesozoic time او حتى العصر الجيولوجى الثلثى Tertiary time، كما لن عدد كبيرا منها غير معروف من السجل الخضرى.ويشير المسح التمثيلى لبعض العائلات من السرخسيات الحية الى التنوع الكبير الموجود بين السرخسيات، وسوف تكشف هذه الدراسة ايضا النقاب عن ان الحوافظ السبورية لاتوجد دوما فى البثرات sori، كما ان الاخيرة لاتوجد دوما على السطح السفلى، بل ربما تكون حافية على فروع تخصصية او على ريشات الورقة، وان الغطاء قد لايغطى دوما البثرات ولكنه يتكون من تحتها بهيئة الكأس، وان تراكيب الحافظة السبورية لاتكون مشابهة دوما للموجود فى عائلة ثاقب الحجر polypody family.



شكل (24 ـ 16)

واحد من سراخس العنب Grape Fern (Botrychium dissectum) يصل طوله الى 20 سم .

سرخس لسان الحية وسرخس العنب: Adder's Tongue and Grape Ferns (Ophioglossales)

(الافيوغلوسالات Ophioglossales)تحتوى هذه الفصيلة على عائلة واحدة وثلاثة اجناس، ويعتقد انها قديمة للغاية على الرغم من عدم وجود حفريات لها. يحتوى سرخس العنب على 23 نوعا تقطن الاراضى شبه القطبية والمناطق المعتدلة وسوف نتحدث عنها فقط. تكون نباتاتها صغيرة فى الغالب، ارتفاعها لايتعدى بضع سنتيمترات إلا أن نوعا يقطن شمال امريكا ربما يصل طوله الى 60 سم. يكون الجزء الهوائى من المجموعة الخضرية عادة عبارة عن ورقة واحدة تتألف من اجزاء شبه ورقية مستطيلة وعقيمة وكذلك سنبلة spike خصيبة قائمة (شكل 24 ـ 16)، اما الحوافظ السبورية Sporangia (شكل 24 ـ 17أ) فتحمل فى صفين على جانبى اقسام السنبلة الخصيبة، وتكون الحوافظ كبيرة للغاية تحوى من 1500 ـ 2000 من السبورات. عندما تنضج الحوافظ تنفتح بشق عرضى وتسقط السبورات لايوجد بها حلقة كما لاتوجد آلية للفظ السبورات. يكون الثالوس الاولى شبيها بالدرنة المفلطحة يبلغ طوله حوالى 18 ملليمترا ويكون مدفونا فى التربة، ويحصل على غذائه من خلال نشاطات لفطر مصاحب associated fungus. ليس نمط الحياة هذا الذى ينتهجه الثالوس الاولى مقصورا على الافيوغلوسالات ولكنه موجود ايضا فى بعض المجاميع البدائية من رتبة الفيليكاليس Filicales.

الفليليكاليس: Filicales

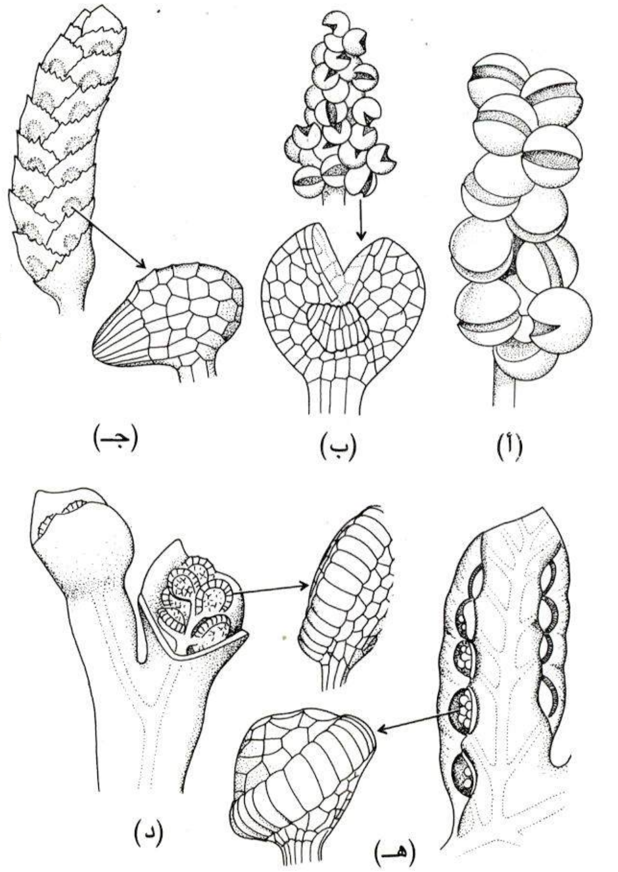
وهى فصيلة تنتمى اليها غالبية السراخس الحية وتنقسم الى 14 عائلة او مايقارب ذلك ويختلف العدد بتعدد جهات التصنيف، وسوف نتعرض هنا لدراسة بعض منها فقط.

عائلة الاسموندا: *Osmunda family* (*Osmundaceae*)

وتعيش منها ثلاثة اجناس تحوى 20 نوعا وهى سراخس كبيرة يعود سجلها الجيولوجى الى العصر البيرمى Permian time coarse Ferns. ان سرخس القرفة Cinnamon fern (Osmunda cinnamomea)). الشائع (فى شرق امريكا الشمالية) يتمتع بازدواجية شديدة فى الهيئة (شكل 24ـ18). اما حوافظه السبورية المحمولة على حواف اجزاء شديدة الاختزال من الورقة الخصيبة فلاتكون مرتبة فى بثرات، كما ينقصها الغطاء indusium وتكون الحوافظ السبورية كبيرة محمولة على اعناق قصيرة وتتخذ هيئة التراكيب المتكورة وتنتج كل واحدة منها مايصل الى 500 سبور تكون الحلقة بدائية rudimentary. وتخلو الحافظة من آلية لفظ السبورات، اذ تسقط السبورات عندما تنفتح الحافظة على طول خط يمتد عبر قمتها ويهبط على جوانبها (شكل 24ـ17ب). تكون الثالوسات الاولية قلبية الشكل كبيرة لحمية تعيش طويلا.

السرخس المتسلق او الحشيشة المجعدة (عائلة) *Climbing fern or curly grass family* (*Schizeaceae*)

وهى عائلة قديمة اخرى لها اقرباء من العصر الكربونى، تحتوى العائلة على اربعة اجناس و 118 نوعا وموطنها فى المناطق الاستوائية اساسا. غير ان نوعين منها هما السرخس المتسلق climbing fern (lygodium)، (شكل 24ـ19) وكذلك الحشيشة المجعدة curly grass (schizaea) يوجدان فى شرق امريكا الشمالية واوراق هذه العائلة تارة تكون من النوع العقيم الخصيب وقد يكون بعضها خصيبا بينما بعضها الآخر عقيم. وفى المناطق الاستوائية تتخذ الاوراق التوائم من السرخس المتسلق النمو



شكل (24 ـ 17) حوافظ سبورية سرخسية

(أ) حوافظ سبورية لسرخس العنب (Botrychium dissectum) وتوجد فى صفين على قسم من السنبلة الخصيبة.

(ب) سرخس القرفة Cinnamon Fern (Osmunda cinnamomea) عنقود من الحوافظ السبورية وحافظة وحيدة.

(جـ) حوافظ واحد من السرخس المتسلقة Climbing Fern (Lygodium heterodoxum) قطعة خصيبة من ورقة وحافظة وحيدة. تتولد الحوافظ السبورية فرادى على القطعة الخصيبة ويغطيها غشاء.

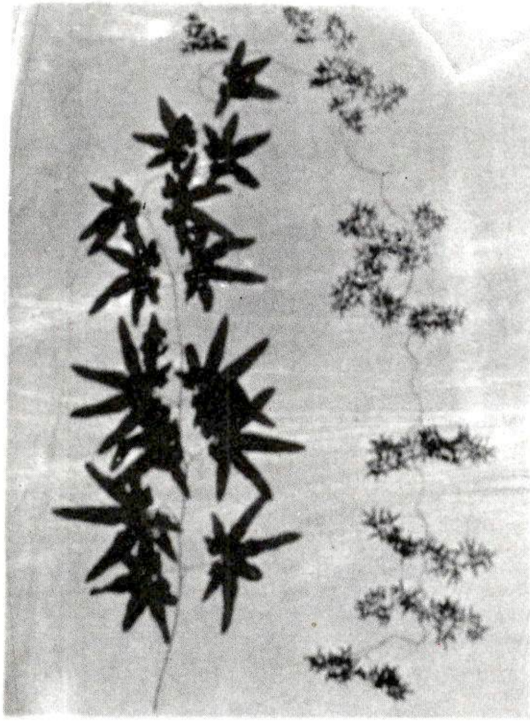
(د) حوافظ سرخس رقيق Filmy Fern (Hymenophyllum polyanthos) بثرات حافية وحافظة منفردة، تترتب الحوافظ السبورية على طول المحور، وتكون حلقتها مائلة.

(هـ) سرخس شجرى Tree Fern (Cibotium dicksoniaceae) بثرات مرتبة حافيا وحافظة سبورية منفردة حلقتها مائلة.



شكل (24 ـ 18)

سرخس القرفة (Osmunda cinnamomea) ، تظهر بجلاء ازدواجية هيئته فى وجود عنقود من اوراق خصبية بهيئة سنبلة فى وسط النبات ، تحيطها أوراق عقيمة خضراء عريضة .



شكل (24 ـ 19)

واحد من السراخس المتسلقة ـ النوع متسلق النخيل (Lygodium palmatum) ، وموطنه شرق امريكا الشمالية ، جزء من ورقة (ويبلغ طولها حوالى 75 سم) يظهر عليه الوريقات الخصبية والعقيمة .

الاقصى لها فى الغالب ، اذ قد يبلغ طولها 30 مترا او اكثر من ذلك ، وهى اطول الاوراق النباتية على الاطلاق . اما الحوافظ السبورية الكبيرة ، التى تتميز بحلقة شبه كاسية (شكل 24 ـ 17 جـ) فلا تتخذ البثرات فيها شكل العناقيد ، وتتفتح الحافظة السبورية بطولها غير انها تخلو من آلية لفظ السبورات ومن المحتمل ان اسلاف هذه النباتات من العصر الكربونى كانت تتمتع باحجام اكبر بكثير عن احجامها الآن .

السراخس الدقيقة (الغشائية) *Filmy ferns* (*Hymenophyllaceae*)

اخذت السراخس الدقيقة اسمها بسبب رقة اوراقها المتناهية ـ ففى العادة تتكون من طبقة وحيدة من الخلايا ، الا فى مواضع العروق . اما انواعها وتتراوح بين 600 ـ 650 نوعا فلا تقطن إلا المواطن دائمة الرطوبة ، وذلك فى المناطق الاستوائية حيث تنمو على التربة كنباتات معايشة epiphytes . تزحف بعض الانواع شمالا إلى شرق الولايات المتحدة ، ربما تكون اوراقها منتصبة (شكل 24 ـ 20) ، او زاحفة ويتراوح طول الورقة بين 25 ملليمتر و 60 سم . تكون الحوافظ السبورية محمولة على اعناق قصيرة ومزودة بحلقة مائلة obligue annulus (شكل 24 ـ 17 د) . وتكون متصلة بمحور متطاول ومغلفة عند قاعدتها بغطاء يتخذ شكل الكأس او يتكون من فصين . تشير رقة الورقة إلى الاختزال وإلى تكيفها مع احوال الرطوبة العالية . وهذه الاشكال تكون عالية التخصص البيئى وغير ذلك .



شكل (24 ـ 20)

واحد من السراخس الرقيقة المعايشة Filmy Fern – Epiphytic (Hymenophyllum polyanthos) وسط امريكا ، ويبلغ طوله حوالى 18 سم .

السراخس الشجرية : *Tree ferns*

تعود السراخس الشجرية إلى عائلتين هما عائلة الـ Cyathaceae (شكل 24 ـ 21) ، وعائلة الـ Dicksoniceae ، وهما عائلتان لاتربطهما صلات قربى قوية ، وتشملان معا ما يزيد عن 800 نوع . تكون بثرات الحوافظ السبورية فى العائلة الاولى على السطح السفلى من الورقة فى حين تكون فى العائلة الثانية حافية تحيط بقطاعات الورقة (شكل 24 ـ 17 هـ) . تتشابه الحافظة السبورية بحلقتها المائلة فى كلا العائلتين كما تشبه ايضا تلك التى فى السرخسيات الرقيقة . تعيش السرخسيات الشجرية فى غابات الجبال الاستوائية كما تزرع انواع عديدة منها فى الحدائق النباتية .



شكل (24 ـ 21)

سرخس شجرى (Cyathea arborea) موطنه بورتوريكو .

عـائلـة ثـاقـب الحجـر : *Polypody family* (*Polypodiaceae*)

يشكل افراد هـذه العائلـة السرخسيات "المعـاصرة" التى يحتمـل ان تكون قـد تطورت إلى شكلهـا الحـالى اثنـاء العصر الجيولوجى الثلثى ، ولكن يفترض ايضا ان تكـون قد اكتسبت سمـاتها الاسـاسيـة فى العصر الجيـولـوجى الـوسيط . وهى اضخم عـائـلات السراخس عـددا (حـوالى 7000 نـوع) ، وتضم معظم السراخس التى حولنا . وللتسهيـل سوف نعتبـر كـل هذه الانـواع من عائلـة واحدة رغم ان بينهـا اختلافـات كبيرة ، حتى ان المسئولين عن تقسيم النباتات قد قسمـوها إلى عدد من العوائـل ، تحتل أنـواع ثاقب الحجـر مكانـة العائلـة الـواحدة فيهـا . كما ان دورة الحيـاة تكون مطـابقة لمـا سبق وصفه فى هذا الفصل ، وتضم ثالوسا اوليا قلبى الشكل اخضر وحافظة سبورية محمولة على عنق طويـل تحوى حلقـة متقطعة ورأسيـة تنفتح فى شق مستعـرض (انظـر شكـل 24 ـ 9) . تتواجد حـوافظ السبورات فى بثـرات على السطـح الاسفل من الـورقة وربمـا تـرتب الحـوافظ حـافيـا ، يصـاحب البثـرات السبورية فى العادة غطاء ولكن الاولى ربما تكون عارية احيانا .

من بين تحورات التطور العديدة التى طرأت عـلى السراخس تبوؤ الحافظة السبورية بحلقتها الفـريدة مكـان الصدارة من حيث الاهتمام . فالحافظة السبورية لعـائلة ثـاقب الحجر ومـا بها من آلية تخصصية للفظ السبورات يعتقد انها اكثر الانواع تقدما . غير ان حوافظ سبـورات السرخسيات الـرقيقة وكـذلك الشجرية وغيرها من التى تضم حلقة مائلة تتشابه مع الاولى فى تركيبها تكون ايضا قادرة على لفظ سبوراتها بقوة معينة . امـا العـوائل التى تضمهـا الفيليكاليس مثـل Schizeaceae والـ Osmundaceae فتخلو من آلية لفظ السبـورات . وقد يكـون لمثل هذه الآلية قيمة بيولوجية عظمى عندما يزيد عدد الحوافظ السبورية فى السلسلة الامر الذى ينتج عنه تزاحم وشح المكان اللازم للانشطار العرضى . كما ان الحلقة المائلة او الراسية قد تسمح للحافظة السبوريـة بالانشطـار والانفتاح إلى اعـلى مما يترتب عليه الانتفاع بالحيز فوقها .

الخلاصـــة Summary

1 ـ للسرخسيـات تـاريـخ عـريـق يمتـد إلى اواسط العصر الجيولوجى ـ الديفونى على أقل تقدير معظمها من نباتـات اليـابسة ، قـد تأقلمت لتنـاسب عـددا من الاختـلافـات البيئية .

2 ـ يعتبر ساق السرخس مع بعض الشواذ ، من الريزومـات ، ولـذا يشيع بـين انـواعهـا التكـاثـر الخضرى بـواسطـة الريزومات . تكون اوراق معظمهـا ملفوفـة على نفسهـا فى فتوتها وتتنـامى من خلال النمـو الطرق . تمثـل الانسجة الوعائيـة عمومـا تلك التى فى النبـاتات البـذرية ، غـير ان الكمبيوم ينقصها ، يكون منشأ كل انسجتها ابتدائيا .

3 ـ تتولد سبـورات السراخس داخل تـراكيب تخصصية هى الحوافظ السبورية ، وتكون هـذه الحوافظ محمـولة عـلى السطح الاسفل من الاوراق المطولة وقد توجد على حوافها او تعلو اوراقا او اجزاء منها تكون مختصة بـذلك . ربمـا تحمل الحوافظ السبورية فى عنقود يسمى بالبثـرات يمكن للبثرات ان توجد عاريـة او مغلفة بغطـاء يصاحبهـا . اما حلقـة الحافظـة السبوريـة ان وجدت فقـد تكون بـدائية rudimentary او قميـة apical او مـائلـة oblique او رأسية كما هى الحال فى ثواقب الحجر .

4 ـ قد تجمع اوراق السراخس بـين هيئتين الاوراق الخصيبـة fertile والاوراق العقيمـة sterile ، وهى حـالـة تسمى بـازدواجيـة الهيئـة dimorphism ، قـد تكـون اوجـه الاختـلاف بين الاوراق الخصيبـة والعقيمـة كثيرة وقـد تكـون قليلة .

5 ـ فى سراخس الفيـوجلـوســالات Ophioglossales والاوسموندا Osmundaceael والسراخس المتسلقـة ، لا تـوجد آليـة لفظ السبورات . بينمـا تحتوى العـوائل الاخرى التى ذكرناها ـ السراخس الشجـرية والـرقيقة وكذلك ثواقب الحجر ـ من الوسائل ما يقذف بالسبورات بقوة من الحافظة السبورية . وتكون هذه الآلية فريدة فى السرخسيـات وحدهـا ، اما العـوامل الـداخلـة فى هـذه العملية فهى طبيعة جدران الخلايا فى الحلقة وتبخـر الماء وترابط الماء فى داخل خلايا الحلقة والتصاقه بجدرانها .

6 ـ ينبت السبـؤر ومن ثم يكون فى معظم السراخس ثـالـوسـا اوليا على شكل قلب يحمل اشباه الجذور ، وكذلك اعضـاء جنسية عديدة الخلايـا (الارشيجونـات والانثريـدات) وذلك على جانبه السفلى تكون السبرمات متحـركة وتسبـح إلى الارشيجـونة حيث تخصب بيضتهـا يمكن النظـر إلى طريقة الاخصاب المائية هذه كمثال على استرداد سمة من سمات الاسلاف .

7 ـ تتطـور البيضة المخصبـة إلى الطـور السبـورى الجنينى الـذى يتـألف من قـدم وورقـة ابتـدائيـة وسـاق وجـذر ابتدائى . يمتص الطور السبورى غذاءه ومـاءه من خلال القدم ويكون لوقت ما معتمدا على طوره المشيجى .

8 ـ يخترق الجذر التربة ثم تظهـر الورقـة الاولى صاعـدة إلى الهواء وسرعان ما يصبح الطور السبورى نبـاتا مستقـلا ينكمش الثـالـوس الاولى ثم يختفى . يحـل محـل الجـذر الابتدائى جذور عـرضية وتتخـذ الاوراق الثانـوية مكـان الورقة الابتدائية .

9 ـ يظهر بجلاء فى السرخسيات تعاقب اجيـال محدد . يكـون الثالوس الاولى هو التركيب الرئيسى لجيل الطور المشيجى الـذى يحتوى ايضـا عـلى سبـورات وامشـاج وبيضـات وسبرمات .

10 ـ تكـون البيضـة المخصبـة اولى خـلايـا جيـل الطـور السبورى ، ذلك الذى يحتوى ايضا على الجنين والنبات اليـافـع الـذى يحمـل حـوافظ سبـوريـة وخـلايـا الام السبـوريـة . ان العـدد الكـرومـوسـومى (n) (اى الاحـادى) المـوجـود فى البيضـة يتضـاعف فى وقت الاخصاب ، بينما يختـزل العدد الكـروموسـومى (2n) (اى الثنائى) الموجود فى جيل الطـور السبورى ، حتى يصبح (n) عندما يقع الانقسام الاختزالى فى خـلايا الام السبورية داخل الحافظـة السبوريـة.يسود جيـل الطور السبـورى دورة حيـاة النبـات فى السراخس مثلمـا هى الحال فى غيرها من النباتات الوعائية .

11 ـ لا تكـون اختلافـات الشكل العـام بـين جيـلى الطـورين السبورى والمشيجى من جراء اعدادها الكـرومـوسـومية اى الثنائية والاحادية على التوالى . ويظهـر هذا بجـلاء فى وجـود الثـالوسـات الاولـيـة ثنـائية المجموعة الكـرومـوسـومية (ونقصـد بها الـلاسبـوريـة) وكذلك نباتات السرخس احادية المجموعة الكروموسومية (ونقصد بها اللامشيجية) .

اعرق نباتات الأرض وتطورها
Early Land Plants and Their Evolution


25

اعرق نباتات الأرض وتطورها
Early Land Plants and Their Evolution

أثمـرت مئات السنـين من البحث العلمي في النبات ، ثـروة هائلة من حيث ماحوته من معلومات عن النباتات . ولقد أخذت هذه المعارف تتزايد خلال القرن الماضي بمعدلات متوالية : كما أصبـح لتراكم هـذه الحقائق قيم علميـة وتطبيقيـة عـلى حـد سواء . غير أن تنظيمها في أنماط ونماذج أتاحت الفرصة أمـام استنباط الأسس الرئيسيـة ، قد اكتسب قيمـة أكثر من ذلـك بكثير . وكان أكثر هذه الأسس اثمارا من الناحيـة العلمية هـو مبـدأ النشـوء والارتقـاء evolution . فلم يكتف هـذا المبـدأ بجمـع الحقائق معـا في تركيب منطقي فحسب ، بـل حفز هـذا التجميـع عمليات البحث والاستقصـاء في الحقول المهملـة من المعارف ، التي بدورها قد أغنت مبدأ النشؤ والإرتقاء .

سجـلات مـاضي الأرض : Records of the Earth's Past

لقـد تحصلت الحفريـات وهي بقايـا الأحياء وبصمـاتهـا المـوجودة في القشرة الأرضيـة earth s crust ، عـلى الانتبـاه المتزايد وصارت مثار اعجاب الناس لقرون عدة . فقـد توصـل عدد من الكتاب الاغريق والرومـان في عصر ما قبـل الميلاد إلى حقيقة أن هذه الحفـريات تمثـل بقايـا الكائنـات الحية ، التي قطنت الأرض في وقت ما . ومن العجيب أن مثل هـذه المبادىء قد ضاعت في ضبـاب ذاكرة القـرون الوسطى ، وحلت محلهـا تفسيرات عجيبة لتلـك الظواهـر ، وفي اثناء ذلـك الوقت جـرى انكار حقيقة أن تكون هذه الحفـريات هي بقـايا كـائنات حيـة عاشت في قرون مضت . وبدلا من ذلك اقنعـوا الناس بـأن تلك الظواهر ، مـاهي الا نزوات للطبيعـة ونتاج لقـوى حيويـة على الأرض ، أونتاج لعصارة متحجرة . شهد أواخر القرن السابع عشر وبـداية القـرن الثامن عشر تنـاقضا عظيمـا في « نظريـة الفيضـان » flood theory وطبقا لهـذه النظريـة ذكر أن كـل الحفريات قد تكونت في أعقاب الطوفان الكبير في عصر نوح عليه السـلام . وبناء عـلى هـذه الفـرضيـة يستنبط أن تكـون كـل الحفـريات قـد تكونت في عصر جيـولوجي واحـد ، حيث انهـا جميعا قد تكونت في وقت واحد .

لقـد تنامت تـدريجيا وببطء فكـرة المتحجرات الأقـرب إلى الحقيقـة . ففي خـلال القـرن الثـامن عشر شكـل المفكـرون تدريجيا مفهـوم أن تكون هـذه الحفريـات شاهـدا على وقـوع أحداث في تاريخ الأرض ، وان النباتات والحيوانات قد اتخذت من الأرض موطنا قبل ظهور الانسان عليها بـأحقاب طـويلة ، ومع تطور مبدأ التوارث ظهر خلال القرن التاسـع عشر اهتمام مجدد بالحفريات بوصفها شـاهدا ملمـوسا عـلى الكيفية التي

انحدرت بها النباتات والحيوانات التى تعيش فى العصر الحديث . لقد افترضت نظرية النشؤ والارتقاء theory of evolution ، أن تكون تغيرات تدريجية قد وقعت عبر أحقاب طويلة من التاريخ تمخضت عن الأنواع الحالية ، كما كشفت الدراسات الجيولوجية النقاب عن أن مثل هذه الأحقاب التاريخية قد مربها تاريخ الارض . ومن هنا يعتبر علم البالونتولوجيا (الحفريات) paleontology ـ ويختص بدراسة ماضى الحياة من الحفريات ـ علما هاما يعتمد عليه كل من علماء النبات والحيوان على حد سواء . ولهذا العلم تطبيقات عملية مباشرة علاوة على اسهاماته العلمية الغنية ، التى تتمثل فى تحديد مكامن النفط والفحم وغيرهما من الترسبات المعدنية التى تعد من الثروات الطبيعية ذات الأهمية الاقتصادية .

لقد اختلفت النباتات المنقرضة extinct اختلافات كبيرة عن تلك التى تعيش الآن ، بينما نجد تشابها قويا قائما بين البعض الآخر وأسلافه الأوائل . وتتعاظم هذه الفروق فى درجتها تبعا لعمر الصخور التى وجدت فيها الحفريات . فكلما زاد عمر الصخور ، زاد معه وضوح اختلاف الحفرية عن النباتات الحديثة . ومن خلال استكشاف العلاقات بين الزمن ودرجة تعقيد التركيب ، واوجه الشبه مع النباتات الحية ، يمكن تعقب تتابع نباتات الأرض فى مسار تطورها وارتقائها . ومن هنا تتضح بجلاء ضرورة توفر قدر كبير من معرفة حقائق علم الشكل (او المرفولوجيا) المقارن comparative morphology للنباتات الحية ، فى سبيل الوصول إلى فهم نباتات الماضى ، التى يفتقر سجلها الحفرى لصفة الاستمرار فى العادة . ويكون العكس صحيحا ايضا ، إذ توصلنا معرفة النباتات القديمة إلى استنباط فهم أساسى لخطوات النشؤ والارتقاء ، التى ادت إلى ظهور نباتات عصرنا . وتكشف السجلات الحفرية النقاب عن أن النمط الخضرى على أرضنا قد مر بتغيرات مستمرة عبر العصور . ظهرت مجاميع كبيرة من النباتات نمت وترعرعت ، وأصبح بعضها هاما ، بل ايضا من العناصر السائدة فى الحياة النباتية المعاصرة . كما تقلصت مجاميع أخرى ، غير أنها قد خلفت عبر اضمحلالها أخلافا أصبحت بمثابة « حفريات حية » تمدنا بشواهد لها دلالات عن طبيعة أسلافها والكثير من المجاميع الاخرى قد أصبح منقرضا تماما . ومن هنا تصبح نباتات عصرنا هى الأعضاء الباقية فى مجاميع تمتد اصولها إلى ملايين من السنين المنصرمة .

الحفريات النباتية : Plant Fossils

توجد معظم الحفريات النباتية فى الصخور الرسوبية sedimentary rocks . وتتكون مثل هذه الصخور على هيئة رمال أو وحل ينتقل تحت الماء ويترسب . أما البقايا النباتية ، التى دفنتها مثل هذه الرواسب فتتحجر أحيانا أثناء تكتل المواد غير العضوية مكونة صخورا صلدة . ويمكن العثور على هذه الحفريات فى أحواض الطمى ، وكذلك فى الرماد البركانى غير المتكتل . وحيث أن غالبية البقايا النباتية قد انتقلت من المواقع التى كان النبات ينمو فيها إلى مواقع رست فيها الرواسب ، نجد أن هذه الحفريات لا تكون فى العادة لنبات مكتمل . فربما تتألف من بضعة أوراق أو أجزاء من ورقة أو أجزاء من سيقان أو جذور أو من بضع سبورات أو بذور أو مخاريط cones . ويندر أن تجد كل أعضاء النبات متصلة بنفس ترتيبها فى النبات اثناء حياته .

يمكن تصنيف الحفريات النباتية حسب نشأتها إلى حفريات تشكلت بالضغط compressions ، وبصمات الحفريات impressions ، وقوالب الحفريات casts and molds ، وأخيرا الحفريات المتحجرة petrifications . تتكون حفرية الضغط (شكل 25 ـ 1) عندما يترسب جزء نباتى مثل الورقة على سطح لين مثل الوحل ، ثم تغطيه رسوبيات ناعمة . ومن ثم تنضغط المادة النباتية بفعل وزن الرواسب ، وعادة لا تحتفظ هذه الحفرية بترتيبها الداخلى ، ولا يبقى منها إلا رقيقة كربونية ، قد تتمكن من اظهار التركيب السطحى للنبات مثل الأدمة cuticle والبشرة epidermis والثغور stomata والشعيرات hairs . تتشابه بصمات الحفريات مع حفريات الضغط ، غير أن البصمات لا تحتفظ بالمادة العضوية ، إذ تكون المادة النباتية قد تحللت تماماً ، ولا يبقى منها إلا حدودها الخارجية ، التى تمثل الشكل الخارجى للنبات ويوجد شبه كبير بين نوعى قوالب الحفريات casts and molds ، فعندما تدفن أجزاء النبات مثل السيقان ، وتتحلل بعد ذلك ربما تترك فجوة فى الصخور أو قالبا mold يحتفظ بشكل النبات وأبعاده . أما النوع الآخر cast فينشأ عن امتلاء

القالب ، بمادة أو مواد غير عضوية (شكل 25 ـ 2) .

والنمط الأهم فى الحفريات النباتية هو الحفريات المتحجرة petrifications ، حيث تدفن أنسجة النبات ، مثل الخشب والجذور أو اعضاء التكاثر فى قالب matrix ، من مواد غير عضوية . ويتكون هذا القالب نتيجة لتسرب ثم ترسب مواد ومركبات مثل ثانى اوكسيد السليكون والكالسيوم ، أو كربونات المغنيسيوم أوكبريتيد الحديد . والخشب المتحجر ، هو مثال معروف . باستخدام طرق خاصة مثل القطع والطحن grinding والتلميع polishing يمكن تحضير مقاطع رقيقة من هذه المتحجرات لاجراء الاختبارات المجهرية (شكل 25 ـ 3) . تكشف هذه الطريقة النقاب عن جل التفاصيل فى التركيب الداخلى ، بنفس كفاءة شرائح النباتات الحية ـ بل إن هناك أمثلة كشفت فيها تلك القطاعات النقاب حتى عن الأنوية والبلاستيدات الخضراء . ساد لوقت طويل الاعتقاد ، بأن المادة النباتية الأصلية قد حلت محلها أثناء التحجر ـ جزىء محل جزىء بمواد معدنية مثل السيليكا، وان هذا الحلول كان تدريجيا بحيث تمكن الهيكل المعدنى من الاحتفاظ بصورة طبق



شكل (25ـ1) حفرية بالضغط لورقة من نبات بذرى سرخس (Neuropteris gigantea) من بنسلفانيا .



شكل (25ـ2) نبات الكالاميتس Calamites ، قالب حفرى يمثل اللب Pith . حلت مادة رسوبية محل اللب المختفى وتصلدت مكونة قالبا صخريا . النقوش الظاهرة هى بصمات لسطح الخشب الداخلى .



شكل (25ـ3) قطاع عرضى فى ساق نبات متحجر هو السفينوفيللم Sphenophyllum . من بنسلفانيا .

الأصل للتركيب الشكلى الذى كان موجودا فى النسيج الأصلى . ولكن الأبحاث الحديثة قد أظهرت أن المركبات الكربونية الأصلية ، أو قل بقاياها المتحورة ، لاتزال موجودة فى جدران الخلية المتحجرة ، على الرغم من أن مثل هذه المركبات قد تعرضت فى العادة لتحورات كيميائية .

وعلى الرغم من أن تركيب عدد كبير من النباتات المنقرضة قد عرف جزئيا من حفرياتها ، فلا يزال سجل الماضى غير مكتمل تماما ، بحيث تصبح مشكلة تعقب أصول أنساب النباتات الكائنة من أكبر المعضلات . ترجع أسباب عدم اكتمال السجل الحفرى لعوامل عدة . فلم تتكون الحفريات النباتية إلا بتوفر ظروف خاصة ، ربما قامت فى مناطق محدودة ولمدد محدودة نسبيا أيضا . فالعديد من النباتات قد نمت فى أراضى صخرية عالية أو مناطق قاحلة arid ، ومن ثم تحللت حيث نبتت ، ولم توجد الظروف المناسبة لتكوين حفرياتها . كما أن الحفريات النباتية يتعذر الوصول اليها فى الكثير من مناطق القشرة الأرضية ، وبفعل التربة وتحركها ، وكذلك تعرضها لسعير البراكين قضى على جزء كبير من السجلات لحياة النبات فى الماضى . ونظرا لوجود مثل هذه المحددات يكون ملحوظا ومفهوما مقدار ماتحصلنا عليه من الحفريات النباتية ، ومحدودية ماكشفت عنه من تفاصيل تركيبية سادت الحياة النباتية .

تاريخ الارض : The Earth's History

لقد أضحت التغيرات سمة بارزة فى تاريخ أرضنا ، كما اكتسبت هذه التغيرات فى فترات معلومة شكل التسارع ، علما بأن فترات التسارع التى كانت أقصر من غيرها قد اتصفت بنشوء الصخور وتشييد الجبال وبوقوع تغيرات نسبية فى المواقف لمساحات كبرى من اليابسة والبحار . كما تعاقبت فترات التغيير مع فترات أطول تتصف بالاستقرار النسبى والهدوء . وساد الأخيرة نشاط مرموق للتعرية والترسب . وكان من نتيجة النشاط الذى ساد الفترات الطويلة المتعاقبة ظهور تغيرات عظمى مما أكسب هذه الفترات اسم الدهور eras (دهر era) . كما انتهت الأقسام الفرعية للدهور عادة بثورات جيولوجية صغيرة تعرف بالعصور Periods ، والأحقاب Epochs لقد مكنت دراسة طبقات Strata ، الصخور الرسوبية التى نشأت فى كل فترة من هذه الفترات ، أن يضع الجيولوجيون مقياسا يسمى بمقياس الأمان الجيولوجية Geological Time Scale (جدول 25 ـ 1) . وبواسطة هذا المقياس ، تصنف التكوينات الصخرية طبقا لأعمارها .

جدول (25ـ1) اقسام الزمن الجيولوجى ، وبعض اهم انواع نباتات وحيوانات كل قسم

الدهر ERA	العصر PERIOD	الحقبة EPOCH	اهم النباتات والحيوانات	الزمن بملايين السنين الماضية
الدهر الحديث	الرباعى Ouaternary	البليستوسينية الحالية Recent Pleistocene	عصر الانسان والنباتات العشبية الزهرية	1.5ـ 2
CENZOIC	الثلاثى Tertiary	البليوسينية (Pliocene)	عصر الحياة الحديثة : الطيور والثدييات والنباتات الزهرية	13
		الميوسينية (Miocene)		25
		الضحوية (Oligocene)		36
		الفجرية (Eocene)		58
		الباليوسينية (Paleocene)		63

الدهر	العصر	الحقبة	اهم النباتات والحيوانات	الزمن بملايين السنين الماضية
الدهر الوسيط	الطباشيرى Cretaceous		الانتقال من السراخس الجوراسية وعارية البذور الى التوسع فى مغطاة البذور ؛ نشوء المخروطيات المعاصرة	135
	الجوراسى Jurassic		اوج السيكاسيات (Cycads) والبينيتاليات Bennettitales والجينكوالات Ginkgoalesوغابات المخروطيات ، والزواحف العملاقة والطيور الاولى	181
MESOZOIC	الترياسى Triassic		تدهور السراخس البذرية وترسخ المخروطيات والسراخس ونباتات ذيل الحصان والسيكاسيات والبينيتاليات والجينكوالات . اوائل الداناصورات ، والثدييات البدائية (الترياسى المتأخر)	230
الدهر القديم	البرمى (Permian)		انحدار نباتات العصر الكربونى وظهور اوائل المخروطيات ، وظهور الزواحف واوئل الخنافس	280
	الكربونى الاعلى (البنسلفانى) (Upper Carb - Oni Ferous)		اعظم التطورات فى الكوردايتالات Cordaitales والسراخس البذرية ؛ ونباتات ذيل الحصان العملاقة (Calamites) والحزازيات الصولجانية . (Lepidodendron)	310
PALEOZOIC	الكربونى الاعلى (البنسلفانى) (Upper Carboni Ferous) الكربونى الادنى (المسيسيبى) (Lower Carboni – Ferous)		والمخروطيات العريقة والحزازيات الصولجانية العشبية والسراخس العريقة . الحشرات المجنحة ؛ انتشار البرمائيات . ظهور الزواحف . اضخم احواض الفحم (البنسلفانى) (Pennsylvanian)	345

تابع الدهر القديم	الديفوني الاعلى (Upper Devonian) الديفوني الوسيط (Middle Devonian) الديفوني الادنى (Lower Devonian)		الوسيط والاعلى : اختلافات متزايدة فى حياة النبات ؛ اوائل السراخس ، الليكوبسيدات والسفينوبسيدات ؛ تطور اشجار الغابات ؛ انتقال الفقريات الى اليابسة . الادنى : الراينياليات وغيرها من الاشكال البسيطة للنباتات الوعائية على اليابسة .	405
	السليورى Silurian		اول سجل راسخ لنباتات الارض الوعائية ؛ البسلوبسيدات	425
	الاوردوفيشى Ordovician		الطحالب المفرزة للجير ، الكثير من انواع اللافقريات البحرية ، اوائل الفقريات (اسماك بلافك Jawless Fishes)	500
Paleozoic	الكمبرى Cambrian		اوائل الحفريات الوفيرة ، الطحالب المفرزة للجير وغيرها ، اللافقريات البحرية .	600
الدهر ماقبل الكمبرى Precambrian	ماقبل الكمبرى الاعلى Upper ماقبل الكمبرى الوسيط Middle ماقبل الكمبرى الادنى Lower		ظهور الطحالب الخضراء اليوكاريوتية ، والحيوانات وحيدة الخلية (حوالى مليار ،سنة مضت) البكتريا والطحالب الخضراء المزرقة ، فى صخور عمرها التقريبى 3 مليارات سنة مضت .	4600

لقد أتبعت عدة طرق فى تحديد أعمار الصخور لكل من هـذه الفتـرات ، وأهم هذه الطـرق يقوم عـلى معدل تحلـل العنـاصر المشعة التى ربما تـوجد فى هـذه الصخور . ويتم التعـرف على الدهور والعصور جزئيا عن طريق الاختلافات الفيزيائية ، غير أن أنواع النباتات الحفرية وحفريات الحيوانات التى وجدت فى كل عصر من العصور تشكل السمة الرئيسية عند تعيين دهر أو عصر ما . كما أن العلاقة بين مختلف العصور الجيوليوجيـة ، وبـين وجود بعض الحفريات تشكـل أهم أنواع الأدلـة عـلى حـدوث تطور عضـوى Organic Evolution . من الحقائق المسلم بها ذات المدلول الكبير العثور على صخـور تحمل أعـرق

الحفريات وتحوى بقايا أكثر النباتات والحيوانات بدائية ، وكذلك احتواء التكوينات الصخرية الأحدث على بقايا كائنات أكثر تطورا .

أقدم سجلات الحياة : Early Records of Life

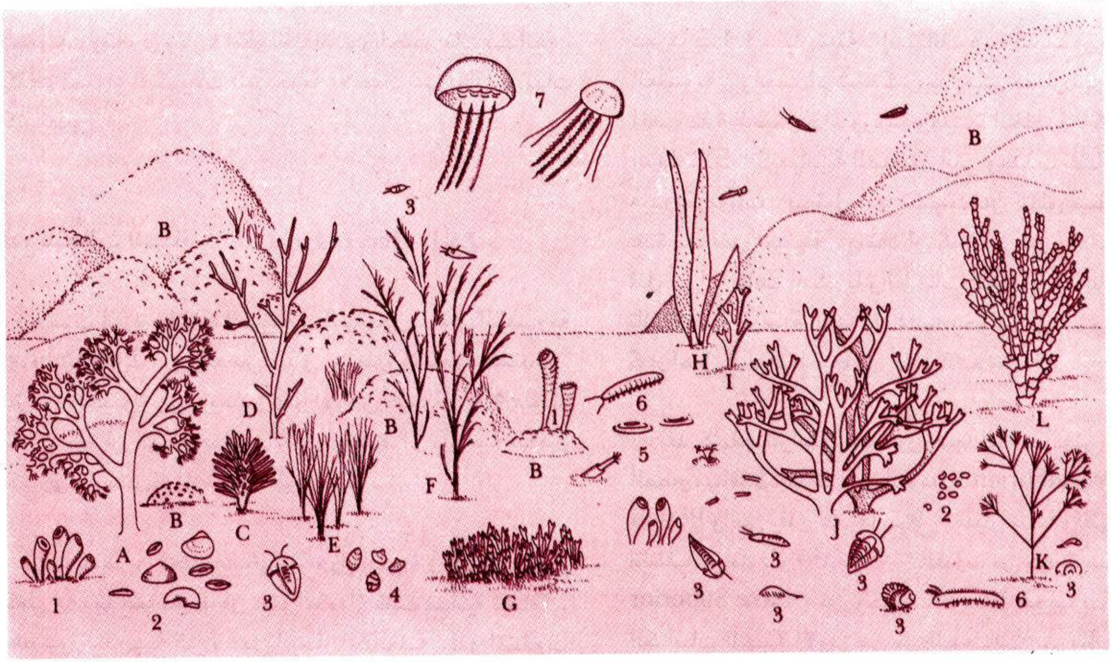
وجدت أعرق دلالات الحياة فى الصخور ماقبل الكمبرية Precambrian ، أى العصر الذى يشغل خمسة أسداس الزمان الجيولوجى . يقدر عمر الأرض بحوالى 4.6 مليار سنة ، كما أن العصر ماقبل الكمبرى يمتد الى بداية العصر الكمبرى أى منذ حوالى 600 مليون سنة .

إن ما لدينا من معلومات ضئيلة حول الحياة فى العصر ماقبل الكمبرى ، يجعلنا نعتقد أن هذه الحياة كانت مائية تماما ، ومقصورة بدرجة كبيرة على البحار الضحلة . لقد اقتصرت الشواهد الرئيسية على الحياة فى العصر ماقبل الكمبرى ، ولسنوات عديدة على طبيعة أنواع معينة من الأحجار الجيرية Lime Stones ، سميت بستروماتوليتس Stromatolites ، ولقد وجدت هذه فى أماكن مختلفة من العالم ، وامتد وجودها من العصر ماقبل الكمبرى الى العصر الحديث Recant era . والستروماتوليتس ، عبارة عن كتل متكورة ذات عقد ، وغير منتظمة الشكل تبرز تركيبا يتخذ شكل الأشرطة ، ويعتقد أن الطحالب الخضراء المزرقة قد أنتجتها أثناء ترسيبها لكربونات الكلسيوم أوكربونات الكلسيوم والمغنسيوم ، من المياه المحيطة . أما هذه الطحالب فقد تحورت بواسطة العمليات البيولوجية والجيولوجية ، وأما تراكيبها الخلوية فلم يتم حفظها . ولقد قدر عمر الصخور المصاحبة للستروماتوليتس (الدهر ماقبل الكمبرى) والتى وجدت فى روديسيا الجنوبية ، بـ 2.7 مليار سنة على أقل تقدير .

وبسبب عدم العثور على كائنات عاشت فى عصر ماقبل الكمبرى ، واحتفظت لها حفرياتها بصفات تركيبية اكتسبت تقارير البحاث بدأ من عام 1954 ، والتى تناولت اكتشافات البقايا الخلوية الحفرية لثالوسيات بسيطة أهمية كبرى ، وكان أعرق هذه الكائنات الحفرية قد عثر عليه فى صخور العصر ماقبل الكمبرى الأدنى فى جنوب افريقيا ، فى صخور قدر عمرها بـ 3.1 مليار سنة . إذ تتألف هذه الصخور من البكتريا العضوية ، وأجسام شبه كروية يمكن مقارنتها بالطحالب المعاصرة الخضراء المزرقة وحيدة الخلية . كما كشفت التحليلات الكيميائية للصخور التى وجدت بها عن وجود هيدروكربونات ، يحتمل أنها تكونت عن الكلورفيل ، وكذلك عدة أحماض امينية ، يعتقد أن كائنات حية قد خلقتها من قبل . وإذا كانت البكتريا والطحالب البسيطة قد عاشت أثناء تلك الحقبة الزمنية السحيقة فانه يحق لنا أن نرجع برسوخ كبير أصل الحياة نفسها إلى عصر أقدم من ذلك .

لقد كشفت دراسة الصخور الأحداث - ونعنى بها صخور العصر ماقبل الكمبرى الوسيط Middle Precambrian Period والتى يقدر عمرها بـ 1.9 مليار سنة والتى وجدت فى منطقة اونتاريو Ontario ، بالقرب من بحيرة سيوبيريور Lake Superior ، عن وجود حفريات مجهرية . وكانت الكائنات الحية الأوفر هى من الطحالب الشريطية الخضراء المزرقة وكذلك البكتريا شبه الخيطية التى تتشابه كثيرا مع الأنواع الحية الآن . تم أيضا العثور على حفريات مجهرية Microfossils فى صخور العصر ماقبل الكمبرى الأعلى Upper Precambrian Period . وكان العثور على حفريات الحيوانات وحيدة الخلية (Foraminifera) الأولى فى صخور مونتانا Montana (يقدر عمرها 1.1 مليار سنة) . وفى استراليا عثر على نباتات وفيرة ، فى صخور يقدر عمرها مليار سنة تقريبا . ولقد تفاوتت أنواعها حيث اشتملت على مايقرب من 30 نوعا من الكائنات الحية - طحالب شريطية خضراء مزرقة ، ومستعمرات بكتيرية وفطريات مائية . وكان أكثرها بروزا هى الطحالب الخضراء وحيدة الخلية ومستعمراتها ، حيث يمكن رؤية أنويتها مما يشير إلى أن الكائنات اليوكاريوتية Eucaryotic Organisms ، قد نشأت وارتقت قبيل انتهاء العصر ماقبل الكمبرى .

وبدءا بالدهر الكمبرى ، نجد وفرة من الحفريات الأمر الذى يجعل سجل نشؤ وتطور المملكة النباتية اسهل قراءة . إن حياة النبات فى عصور الكمبرى Cambrian والاوردوفيش Ordovician ، والسليورى Silurian كانت على مايبدو مائية فى جلها وتألفت من طحالب انحدرت من أشكال أبسط ، عاشت فى الدهر ماقبل الكمبرى . ولقد تضمنت هذه الصحالب أشكالا



شكل (25ـ4) الدهر الكمبرى حياة النبات والحيوان فى البحار الضحلة من (أ ـ ل) الطحالب . (ب) الطحالب الكلسية الخضراء المزرقة : – Calcareous Blue Green Algae انتجت هذه الاشـــكال التجمـــعات الربـــوية الضخمة . (هـ ، و ، ز) انواع اخرى من الطحالب الخضراء المزرقة . (جـ ، ل) الطحالب الخضراء . (جـ ، ط) الطحالب البنية . (أ ، د ، ى ، ك): الطحالب الحمراء (1-7) الحيوانات اللافقرية -
(1) الاسفنجيات الكلسية (2) عضديات الارجل Brachiopods (3) ثلاثيات الفصوص Trilobites (4) الرخويات Mollusks
(5) الديدان الحلقية Annelid Worms (6) اللافقريات الدودية Onychophores (7) قنديل البحر Jellyfish

تتشابه مـع مايعيش من الطحالب الخضراء المزرقة والخضراء والحمراء وكذلك البنية (شكـل 25 ـ 4) . وفى الحقيقة يحتمـل أن تكون الأقسام الكبرى للطحالب قد نشأت فى البحار قبل أن تتكون النباتات على الأرض بكثير . لقد تمشت البحار الدافئة ، فى العصر القـديم البـاليـوزوى Paleozoic Era ، مـع حيـاة الحيوان مما يشير الى توفر امدادات كـافية من غـذاء النبات . وكـان من بين الأنمـاط الحيوانيـة السـائـدة ، المـرجـانيـات Corals ، والـرخويـات Mollusks والاسفينجيات Sponges والقشريـات Crustaceans والـديـدان Worms وأخـيرا اللافقريات Invertebrates . كما وجدت الفقريات الأوائل فى العصر الاردوفيشى ، أى بـدايـة العصر القـديم (البـاليـوزوى) وكانت عبارة عن أسماك لافكية بدائية .

أعرق النباتات الأرضية : Early Land Plants

تـدل كل الشـواهد عـلى أن نباتـات اليابسـة المعاصرة قـد انحدرت من كائنات هاجرت إلى الأرض من البحر منـذ مايـزيد عن 400 مليـون سنـة مضت . وبطبيعـة الحـال يسـود تلـك الهجـرة التى وقعت فى الأزمان الغـابرة غمـوض شديـد ، على الـرغم من أن تلك الهجـرة كانت من أهم الأحـداث فى تـاريـخ المملكـة النباتيـة . والمعتقد أن تكـون الطحـالب الخضراء هى الأسـلاف المباشرة لنبـاتـات الأرض . كمـا يمكن افتـراض أن الطحالب الحمراء والبنية قد توصلت الى الدرجـة التخصصية التى هى عليهـا الان قبـل أن تكتسى الأرض بـالخضرة . ولـذا يصعب تصـديق أن تكون نبـاتـات الأرض قـد نشأت من تلـك

الأشكال عالية التطور (ونعنى الطحالب الحمراء والبنية) ، ومن جانب آخر فإن الطحالب الخضراء كانت ولاتزال إلى حد الآن اكثر بدائية من حيث الشكل وطرق التكاثر . علما بأنها تبدى مطاوعة أكبر فى تكيفها مع مختلف البيئات المحيطة ، وهو عامل مهم فى ارتقاء النباتات .

كان الانتقال من نمط الحياة المائى الى نمط اليابسة قد تم تدريجيا . وفى تلك المواطن المتغيرة أصبحت تلك النباتات التى طورت لنفسها تراكيب تسمح لها بالنمو فى بيئة محيطة يابسة ، أوائل نباتات الارض . كان من الضرورى إحداث الكثير من التغيرات الجذرية قبل أن تزدهر الأشكال النباتية الجديدة ـ وبصورة مؤكدة استطاعت النباتات ان تنتصب وتتخذ لنفسها حجما مرموقا فقط بعد ان كونت لنفسها نظاما من الخلايا المتخصصة فى التوصيل والدعم ، او ماسمى بالمنظومة الوعائية . كما دخل ضمن التغيرات الاخرى تكون الادمة Cuticle والبشرة Epidermis ، التى فى مقدورها مقاومة الجفاف ، والثغور Stomata ، وتراكيب الامتصاص التخصصية وكذلك السبورات سميكة الجدران ، التى تمكنت من البقاء وتحمل الانتثار بفعل الرياح . ولسوء الحظ لم يحتفظ لنا السجل الحفرى بأية اشكال انتقالية بين الطحالب القديمة والنباتات الارضية التى ترسخت على الارض نهائيا . وبدلا من هذا نجد على امتداد العصور الجيولوجية التى امتدت بين العصر السليورى الاعلى ، وبين العصر الديفونى الاوسط مجرد حفريات لنباتات وعائية قد تأقلمت مع حياة اليابسة . كما تخلو هذه السجلات ايضا من اى دليل على وجود النباتات الوعائية قبل العصر السليورى ، ومن المرجح ايضا فى هذه الفترة (وربما فى اواخرها) وقوع واستيطان النبات للارض . وكانت اوائل نباتات الارض متنوعة الاصناف كما هو متوقع ، اذ كانت تتمتع بحرية استغلال مختلف المواطن دونما منازع او بأقل قدر من التنافس . ويمكن تقسيم هذه النباتات المبكرة وفق مانعرفه عنها ، الى اقسام فرعية تحوى البسيلوبسيدا Psilopsida (تعنى Psil العارية ، بالاغريقية ، بينما تعنى Opsida المظهر)، او الليكوبسيدا Lycopsida ، وهما تابعان لقسم النباتات الوعائية Tracheophyta (الفصل 18).

البسيلوبسيدا The Psilopsida

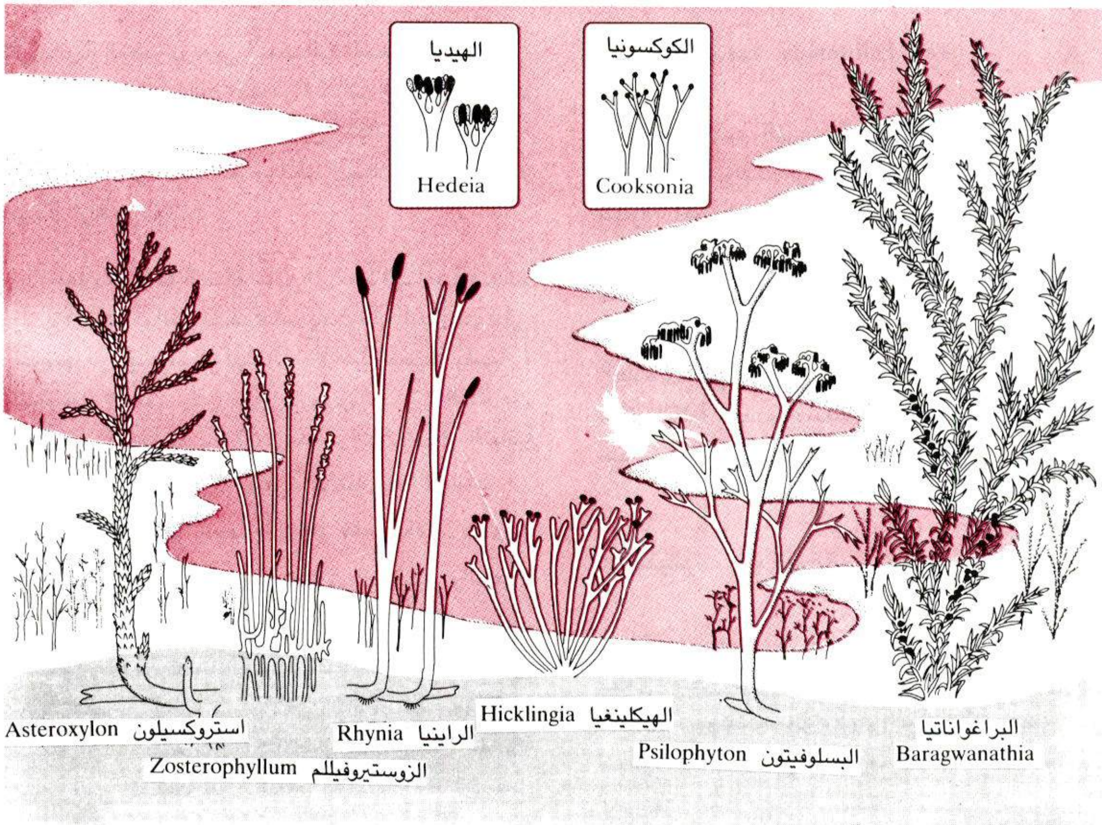
يتميز القسم الفرعى للبسيلوبسيدا بوجود سيقان تخلو من اوراق ، وكذلك بغياب الجذور . كما ان سيقانه كانت ثنائية التفرع وبلا كثافة ؛ اما فى اشكالها الاكثر تطورا فكان المحور الرئيسى يحمل فروعا ثنائية التشعب ومتكررة . وكانت تخلو من الانسجة الثانوية . وكانت الحوافظ السبورية Sporangia اما : (1) طرفية Terminal ، تستطيل فى العادة وتتفتح بشق طولى ؛ او (2) عرضية Lateral ، تأخذ شكل الكلية لحد ما وتنفتح على طول شق عرضى وتتجمع فى سنابل او تتفرق على طول المحور .

الراينياليات *Rhyniales*

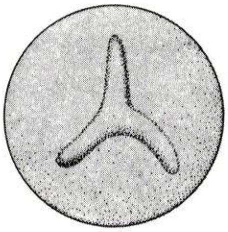
تتضمن هذه الرتبة حفريات البسيلوبسيدا ، التى كان يحمل محورها عددا قليلا نسبيا من الفروع الثنائية الشعب ، وكانت حوافظها السبورية طرفية . ولم تكن مجموعتها كبيرة ، اذ حوت حوالى (9) اجناس ولكنها اصبحت منذ زمن بعيد محط اهتمام دارسى تطور النبات . ولقد تم العثور على البقايا الحفرية لهذه الاجناس فى الكثير من بقاع الارض بما فى ذلك امريكا الشمالية . ولقد اصبح جنس الراينيا Rhynia ، الاكثر وضوحا من بين ممثلى هذه الفصيلة ، وسوف تتم دراسته فيما بعد .

الراينيا *Rhynia*

سمى هذا الجنس باسمه نسبة الى قرية فى شمال اسكتلندا ، حيث تم العثور على حفرياته فى طبقات (فى صخور اعتبرت من العصر الديفونى الاوسط او الديفونى الادنى). عمرها 370 مليون سنة على اقل تقدير . يعرف منها نوعان ، يبلغ طول الاول حوالى 23 سم والثانى حوالى نصف المتر . كان النبات يتكون من ريزوم ارضى وسيقان منتصبة عارية من الاوراق (شكل : 25ـ5). ولم يكن للنبات جذور ، بل كان الامتصاص يتم من خلال اشباه للجذور Rhizoids تماثل الشعيرات الجذرية ، وتنشأ من الريزوم مباشرة . وكان تفرع الاقسام الهوائية ثنائى الشعب



شكل (25ـ5) اقدم نباتات الارض ، السليورى الاعلى والديفونى .

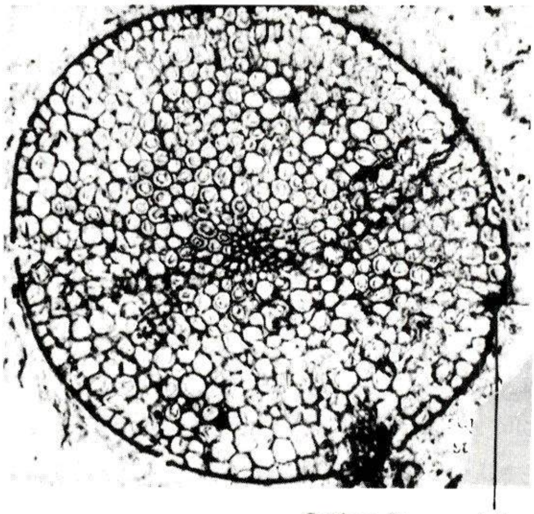


شكل (25ـ6) سبور هوائى لنبات الراينيا Rhynia

غالبا ، اى ان كل قسم يتكون من عدد متساوى تقريبا من الاجزاء وكان بعض الفروع الهوائية خضريا فقط (اى عقيما) بينما انتهت فروع اخرى بحوافظ سبورية ، احتوت اعدادا كبيرة من السبورات داخل جدران كيوتينية . وكانت السبورات تشكل رباعيات Tetrads فى العادة اما ان وجدت منفردة فإنها تظهر خطوطا او حواف ، علمت مستويات التلامس مع غيرها من سبورات رباعية (شكل 25ـ6).

يشكل وجود الرباعيات شاهدا على وقوع الانقسام الاختزالى فى الراينيا . ومن هنا يحق لنا ان نقول ان جسم النبات يعود الى جيل الطور السبورى Sporophyte ، غير اننا لانعرف شيئا عن جيل الطور المشيجى Gametophyte الذى ربما كان يمثل جزءا من الريزوم . لقد ابرزت المقاطع العرضية للساق بشرة سميكة الجدران وكذلك ثغورا وادمة .

كما وجدت داخل البشرة قشرة ، احتوت بعض خلاياها على بلاستيدات خضراء مما يؤكد على ان هذا النسيج كان يقوم بالبناء الضوئى . ونجد شريطا يخلو من اللب ، ويتألف من نسيج للتوصيل باجزاء تمثل القلب المركزى . ومكوناته هى القصبات Tracheids يحيطها اللحاء (شكل 25ـ7). ويمتد هذا القلب بطول مركز الساق .



شكل (25ـ7) قطاع عرضى فى ساق الراينيا Rhynia لاحظ قضيبا صلبا من الخشب واللحاء ظاهرا فى الوسط .

يكون تكاثـر السوطيـات خضريا فى العـادة ، والشائـع هو الانقسام الطولى للخلية مكونة قسمين متساويين . كمـا يوجـد التكاثر الجنسى فى بعض أنواع من السوطيات .

راينياليات اخرى : Other Rhyniales

المبين فى الشكل (25ـ5)، هو بعض اوائل النباتات الاخرى التى قطنت الارض والداخلة فى هذه الفصيلة . ومن بينهـا الهيكلينغيـا Hicklingia والهيـديـا Hedeia والكوكسونيا Cooksonia . وكانت الهيلكينغيا (من العصر الديفونى الادنى) فى انجلترا بطول حوالى 20 سم وتتألف من سيقان ثنائية التشعب بلا كثافة فى ترتيب شبه شجيرى . ولم نعرف من الهيديا الا طرفها فقط ، فكانت تحمل حوافظها السبورية الطرفية فى عناقيد ثلاثية الابعاد ، وجدت اعالى اطرافها فى مستوى واحد . اما الكوكسونيا (شكل 25ـ5 ، 25ـ8)، فكانت تحوى عدة انواع ويرجح ان تكون اصغر افراد المجموعة وابسطها . ويحتمل الا يزيد طولها عن 15 سم . بينما كانت تتألف من ساق نحيفة تنقسم الى فروع ثنائية الشعب تحمل حوافظ سبورية طرفية ، تضم سبورات تحيطها ادمة وتوجد فى رباعيات ، وكانت هذه الانواع تعيش فى العصر السليورى الاعلى فى بوهيميا ، وكذلك العصر الديفونى الادنى فى استراليا وانجلترا ، ومن حيث التاريخ تعتبر هذه اقدم النباتات الوعائية المعروفة على الاطلاق



شكل (25ـ8) نبات الكوكسونيا شبه الكروية Cooksonia hemispherica من العصر السيليورى الاعلى ، وجدت فى وسط بوهيميا . المقاس الطبيعى للجزء الظاهر فى الصورة يبلغ حوالى 56 مليمتر .

الاهمية التطورية للراينياليات Evolutionary Significance Of the Rhyniales

برزت وجهتا نظر بالنسبة لاصل الاقسام الفرعية الكبرى للنباتات الوعائية (انظر فصل 18 ، وشكل : 25ـ18). مثل البسيلوبسيدا Psilopsida ، والليكوبسيدا (الحزازيات الصولجانية) Lycopsida والسفينوبسيدا (نباتات ذيل الحصان) Sphenopsida والبتيروبسيدا Pteropsida . فمن قائل انها قد نشأت فى مجاميع مختلفة للطحالب الخضراء ، ولعل ذلك قد حصل فى ازمان مختلفة واماكن متفرقة ، وجرى انتخابها من بدايات حياة النباتات الوعائية على الارض . اما المبدأ الآخر فهو الاقدم ولم يكن مفضلا

لوقت ما . ومفاده ان هذه الاقسام الفرعية الكبرى قد نشأت عن اسلاف كانت بدرجة معتبرة تشابه الراينياليات . وعلى الرغم من عدم وجود اتفاق كامل الى الان ، الا ان الاعداد المتزايدة من السجلات الحفرية المكتشفة تجعل النظرية الثانية اقرب الى الحقيقة . وعلى هذا الاساس ربما يحق لنا ان ننظر الى اعرق النباتات الارضية بمنظار كونها نباتات عارية من الاوراق وخضراء ذات محور متفرع بشعب ثنائية يحمل حوافظ سبورية طرفية عند قمم بعض الشعب . وكانت هذه النباتات تخلو من جذور ، غير ان اشباه الجذور الماصة قد نشأت من الاجزاء التحت أرضية للمحور . ومن بين السمات الاخرى كون هذه النباتات قد تميزت عن الطحالب بامتلاكها لشريط بسيط من الانسجة الوعائية . وقد تمكننا الراينياليات بناء على هذا ومن اعتبار شكلها الخارجي وتركيبها الداخلي وطريقة تكاثرها ، من تصور طبيعة اسلاف النباتات الوعائية التي قامت بغزو الارض .

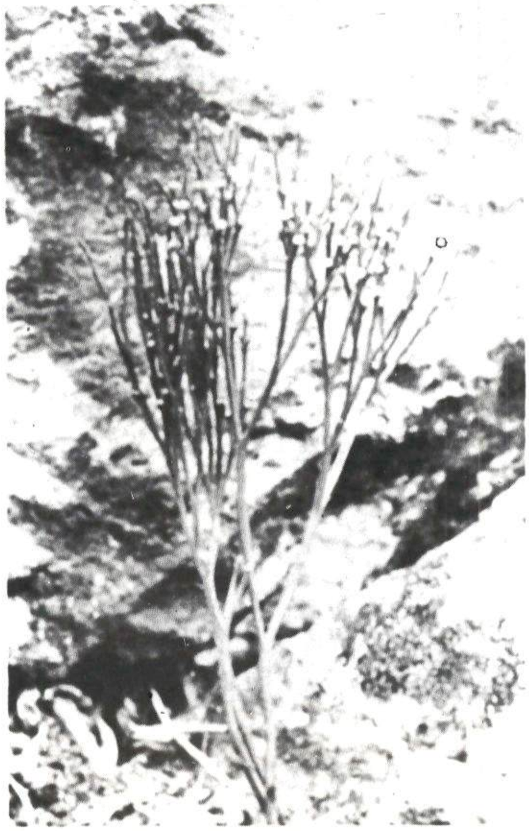
التطور في العصر الديفوني Evolution in the Devonian

كما سبق ان بينا يكون من الصعوبة بمكان تشخيص اوائل الاسلاف الارضية للنباتات الراقية انطلاقا من السجلات الحفرية ، والسبب في ذلك هو ان العصر الذي عاشت فيه هذه الاسلاف كان عصرا سحيقا بعيدا ، فربما تكون اشكال عديدة من الحياة قد عاشت في تلك الاحقاب ، الا ان سجل الزمن قد طمسها ، كما ان عمر طبقات الارض والصخور التي حوت تلك الاسلاف النباتية ، ربما لايمثل مراحلها الاولى في الظهور فما حوته ربما يمثل تلك الافراد ، التي نجت بعد خوضها ، مراحل سابقة من التطور . كما ان عددا من النباتات قد وجد حتى من العصر الديفوني الادنى الذي امتد الى حوالى 15 مليون سنة ، وابرز ما يمكن تفسيره بانه تحورات لنمط اكثر بدائية . وعلى سبيل المثال فمن بين البسيلوبسيدا وتلك النباتات ، التي يحتمل ان تكون ذات قربى بالراينياليات كانت هناك فصيلة يمثلها جنس الزوستيرو فيللم Zosterophyllum (شكل 25ـ5). وهو جنس اتسع انتشاره ، وكان يحوى عددا من الانواع . ولقد ماثلت تلك النباتات البسيطة التركيب الراينياليات في كونها كانت عديمة الجذور والأوراق ، غير ان الشريط الوعائي فيها كان أكثر كثافة نسبيا ، اما الحوافظ السبورية فكانت جانبية تميل في شكلها الى شكل الكلية . ولقد اعتبرت هذه المجموعة مشتقة من الراينياليات ، ولكونها ممثلة للأسلاف البعيدة من القسم الفرعي لليكوبسيدا (الحزازيات الصولجانية) ، فإن حفرياتها المبكرة سوف نتعرض لها فيما بعد .

هذا ويمكننا تصور أن نباتات البسيلوبسيدا ، الأكبر والأكثر تعقيدا ، من حيث أجسامها والتي زاد تفرعها وكثر إنتاجها من العناقيد الطرفية العديدة من الحوافظ السبورية ، قد تطورت وارتقت من أشكال مماثلة للراينياليات ، التي عاشت في العصر الديفوني الأدنى ويمكن تمثيل مثل هذه المرحلة بالبسيلوفايتم Psilophyton Princeps (انظر شكل 25 ـ 5) ، وهي من اوائل العصر الديفوني الأوسط ووجدت في كندا ، ومن حيث طول القامة فربما تراوحت بين 30 و 90 سم ، كما يحتمل أن هذا النبات وغيره كان إشارة البدء بنشؤ اجسام أكثر تعقيدا تبلورت في نباتات ذيل الحصان (السفينوبسيدا Sphynopsida) ، وهي نباتات شبه سرخسية منقرضة Extinct Fernlike Plants ، وكذلك الكثير من الأنواع الأخرى من النباتات حاملة السبورات التي ازدهرت في أواسط العصر الديفوني واعاليه . وقبل نهاية العصر الديفوني (الذي امتد حوالى 60 مليون سنة) ، أصبحت كل النباتات الداخلة في الأقسام الفرعية الكبرى للنباتات الوعائية مترسخة في تكوينها تماما ـ حتى إن البذور البدائية قد انبأت عن نفسها بالظهور منذ العصر الديفوني الأعلى . وعلى النقيض من أصل قسم المملكة الحيوانية ، الذي ربما تكونت كل أنواعه في البحار ، فإن كل المجاميع الكبرى للنباتات الوعائية جنبا الى جنب مع الكبديات والحزازيات ، من بين النباتات غير الوعائية قد بدأت على الأرض .

البسيلوتاليات *The Psilotales*

في الكثير من أنظمة التصنيف ، يشكل جنسان صغيران باقيان على قيد الحياة هما البسيلوتم Psilotum (شكل 25 ـ 9) والتميسيبتيريس Tmesipteris ، وهما قليلا الانتشار في المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية ، يشكلان عائلة Psilotaceae وهي العائلة الوحيدة في البسيلوتاليات Psilotales ، من قسم البسيلوبسيدا Psilopsida . وعلى



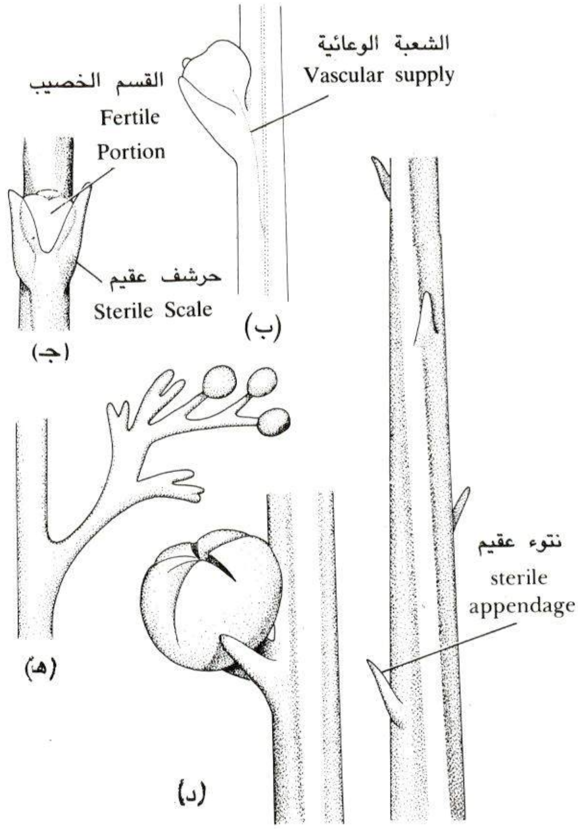
شكل (25ـ9) « سرخس المكانس » (Psilotum nudum)
من جامايكا .

الرغم من ان هذه النباتات تعتبر شاذة من وجوه مختلفة إلا أنها تبرز بعض أوجه الشبه مع الراينيـاليات . فهى نباتات نحيفة ، وبدون جذور تعيش على اليابسة منفردة ، أو معايشة Epiphytic ، أما سيقانها فتكون قائمة أو معلقة . يبلغ طول التميسيبتيريس حوالى 200 ملليمتر ، بينما يتراوح طول البسيلوتم بين 30 و 90 ملليمتر ، أما جسم النبات (الطور السبورى) فيتألف من ريزوم يحمل فروع النبات الهوائية وتغطيه أشباه الجذور ويقال أن البسيلوتم كان عاريا من الأوراق ، بينما تكون الساق الهوائية للتميسيبتيريس حاملة لنتوءات صغيرة شبه ورقية .

ويعتبر تفحص نوع واحد منها وهو «سرخس المكانس» Whiskfern (Pilotum Nudum) ، كافيا للكشف عن أهم سمات المجموعة . ولقد وجد هذا النوع فى جنوب الولايات المتحدة ، حيث يعرف باسمه الشائع «سرخس المكانس» ـ «Whiskfern» . وتسهل زراعته فى البيوت الزجاجية . أما ساقه الهوائية فهى كثيرة التفرع بشعب ثنائية (شكل : 25 ـ 9) . يتم البناء الضوئى فى الفروع الخضراء التى تكون مزودة بأعداد كافية من الثغور . تحوى الساق شريطا نحيفا من النسيج الوعائى الابتدائى ، ويكون هذا خاليا من اللب فى الريزوم ، ولكن مركز الشريط فى الساق الهوائية يكون مؤلفا من نسيج سكلرنشيمى .

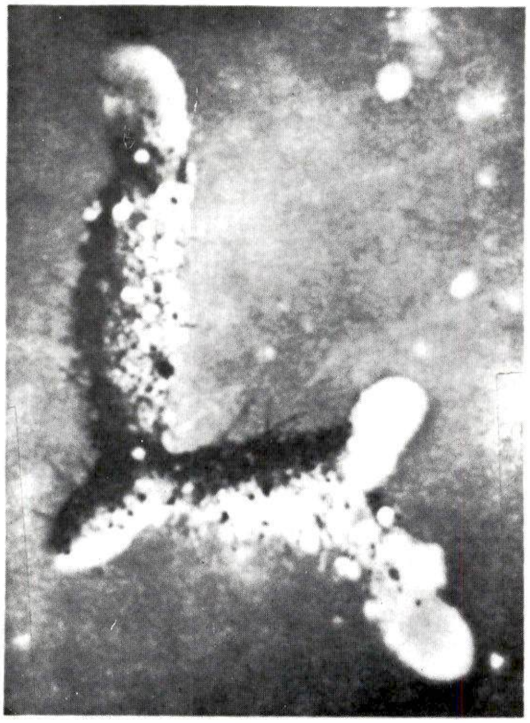
تحمل الساق الهوائية نوعين من النتوءات : (1) عقيمة Sterile ، وتكون صغيرة وشبه حرشفية ، ولاتحوى أى نسيج وعائى (شكل 25 ـ 10أ) ، (2) خصيبة Fertile ، وتكون تراكيب أكبر وأكثر تعقيدا (شكل 25 ـ 10 ب،جـ،د) . ويتألف كل نتوء خصيب بدوره من جزئين : (1) قسم خصيب يتألف من عنق شديد القصر ، يحوى نوعا من المنظومة الوعائية للساق ،ويحمل حافظة سبورية وحيدةمفصصة إلى ثلاثة فصوص ومزودة بثلاث غرف (شكل 25 ـ 10 ب) (2) نتوء عقيم خارج من الفرع الخصيب ، ويظهر كتركيب شبه حرشفى متشعب كالشوكة ، ويوجد أسفل الحافظة السبورية ذات الفصوص الثلاثة . ولايحتوى على نسيج وعائى .

تتفتح الحافظة السبورية بثلاثة شقوق Clefts ، يكون كل واحد منها فى واحدة من غرف الحافظة ، ومن ثم تنتشر السبورات بفعل الرياح . تقع السبورات على التربة ، آذنة بنشوء ثالوسات أولية Prothalli . أما الثالوس الأولى الناضج (شكل 25 ـ 11) فهو ترابى Subterranean ، وغير أخضر ينمو تحت سطح التربة بحوالى 10 ملليمترات أو تزيد . ويكون جسما مطولا واسطوانيا يميل الى البنى ، قد يتفرع بلا انتظام وقد يكون ثنائى الشعب ، كما ينمىّ أشباه جذور تخترق التربة المحيطة . وتكون الثالوسات الأولية متراوحة فى طولها من 1 الى 18 ملليمتر ، وفى قطرها من 0.5 الى 2 ملليمتر . ويتبعثر العديد من الارشيجونات والانثريدات ، (والتى تحتوى على سبرمات متحركة) ، على سطحه . ومن السمات ذات الأهمية الظاهرة أحيانا وجود خيط رفيع من النسيج الوعائى يمتد لعدة ملليمترات خلف المنطقة القمية فى بعض الثالوسات الأولية الأكبر .



شكل (25ـ10) « سرخس المكانس » (Psilotum nudum).
(أ) ساق تحمل نتوءا عقيما .
(ب ، جـ ، د) نتوء خصيب .
(ب) منظر جانبى لنتوء خصيب فتى يوضح الامتداد الوعائى الى القسم الخصيب .
(جـ) منظر امامى للنتوء الخصيب الفتى ، يبين القسم الخصيب والحرشف العقيم ثنائى الفصوص .
(د) نتوء خصيب ناضج .
(هـ) حوافظ سبورية محمولة على مجموع خضرى لسلف فرضى ، ربما نشأ منه النتوء الخصيب لسرخس المكانس المعاصر وذلك بالتكثيف .

وفى أعقاب الانبات تغزو الخيوط الفطرية الموجودة فى التربة هذا الثالوس الفتى . ويتحصل الثالوس الأولى بدون شك على غذائه من التربة مستعينا بالخيوط الفطرية المصاحبة ، وبذلك تكون العلاقة بين الثالوس الأولى والفطر علاقة تكافلية Mutualistic . وبعد الإخصاب ينمو الجنين ، الذى يتكون



شكل (25ـ11) « سرخس المكانس » (Psilotum nudum). الطور المشيجى الناضج يحمل اعضاء جنسية .

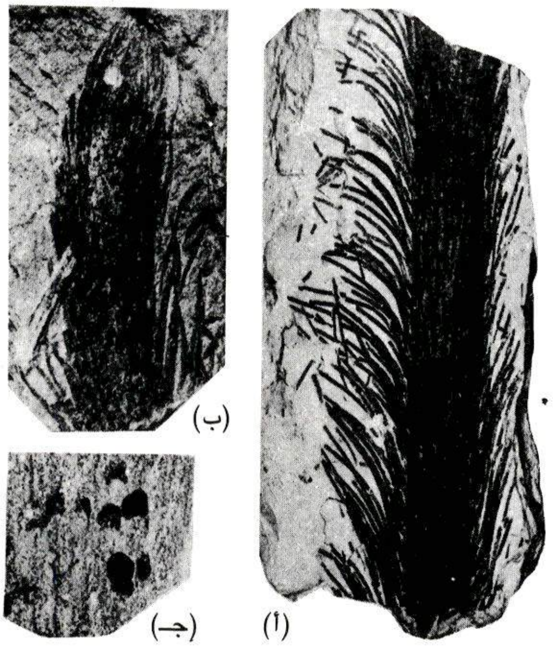
من مجرد قدم ماص Absorbing Foot وساق جنينية Ambryonic Stem ، علما بأنه يخلو من الورقة الجنينية والجذر الجنينى .

لقد اعتبرت البسيلوتاليات Psilotales لوقت طويل ، وبسبب طبيعة جسم النبات غير المتمايزة والواضحة تماما ، من قبل الدارسين لعلم نشوء الأنسال (Phylogeny) مرتبطة بالقربى مع الراينياليات . فقد اعتبرها هؤلاء البحاث متكونة من فروع من بين الراينياليات ـ وربما بتنظيم تركيبى أعلى منها نوعا ما ـ قد اجتازت العصر الديفونى الى عصرنا الحالى بسلام ، ومع ذلك يتناقض هذا التفسير مع غيره ، فهناك آراء أخرى فى الموضوع لم يحتفظ لنا التاريخ بسجل حفرى للبسيلوتاليات . أضف الى ذلك وجود شواهد كثيرة تدل على أن مرجع البساطة الظاهرة فى تركيب هذه النباتات هو الاختزال ، أى التطور الانعكاسى . فعلى سبيل المثال يمكن اعتبار الحافظة السبورية ثلاثية الفصوص والغرف لنبات البسيلوتم

Psilotum ، نتيجة لاندماج ثلاث حوافظ سبورية . علاوة على ذلك فإن النتؤ الخصيب (الذى ليس له نظير بين النباتات المنقرضة فى العصر الديفونى) ، يحتمل أنه يمثل فرعا مكثف التنظيم جرى اختزاله من نظام أكبر وأكثر تعقيدا ، كانت لنتؤات عقيمة وأخرى حاملة لحوافظ سبورية (شكل 25 ـ 10 جـ) . لقد تمخضت الدراسات التفصيلية والدقيقة التى جرت على بعض السراخس البدائية ، وكذلك المقارنات التى أجريت على العديد من مناحى تراكيبها ودورات حياتها ، مع تلك التى فى البسيلوتاليات ، عن نقل عائلة البسيلوتيشيا Psilotaceae ، الى الفيليكاليس Filicales (أى السراخس Ferns) (ثم ذلك النقل فى عام 1968) . وبناء على هذه الدراسات ، يمكن حتى الآن اعتبار البسيلوتم والتميسيبتيريس بين أكثر النباتات الوعائية الباقية بدائية ، غير أنهما مجهولا الأسلاف .

الليكوبسيدا (الحزازيات الصولجانية) The Lycopsida

يمكننا الآن أن نستعرض بضعة أعضاء حفرية من الليكوبسيدا كأمثلة على أعرق نباتات الأرض ، التى عاصرت البسيلوبسيدا المنقرضة . ومن أهم صفات هذا القسم وجود حافظة سبورية وحيدة تعلو السطح العلوى لورقة خصيبة (الطور السبورى) بالقرب من قاعدتها ، أى فى ابط الورقة Leaf Axil ، وقد تكون متصلة بالساق أعلى قليلا من قاعدة الورقة . وتعتبر الحزازيات الصولجانية Clubmosses (الليكوبوديوم Lycopodium) وهى نباتات تتراوح طولا بين بضعة سنتيمترات ومايزيد عن 150 سم ، فى أحد أنواعها (فصل ـ 26) ، تعتبر السائدة من بين الليكوبسيدا الباقية على قيد الحياة . أما أقدم الليكوبسيدا المنقرضة فهى البراغواناثيا Baragwanathia ، التى كانت تعيش فى العصر الديفونى الأدنى ، ووجدت حفرياتها فى استراليا وسميت باسم الجيولوجى الاسترالى W. Baragwanath وكانت نباتات ثنائية تراوحت سيقانها حتى 50 ملليمتر قطرا ومن 3 الى 6 أقدام (90 ـ 180 سم) طولا (شكل 25 ـ 5) . أما السيقان التى كانت تحوى عمودا مركزيا من نسيج وعائى يخلو من لبه ، فكانت تحمل عددا هائلا من الأوراق حلزونية الترتيب ، عرض كل منها حوالى الملليمتر ، أما طول الواحدة فكان يصل الى 4 سم وتحوى الواحدة منها عرقا واحدا



شكل (25ـ12) البراغواناثيا : Baragwanathia
(أ) حفرية بالضغط لجزء من مجموع خضرى ورقى يوضح الاوراق البسيطة الطويلة .
(ب) قسم طرفى من المجموع الخضرى يوضح المنطقة الخصيبة تحمل حوافظ سبورية بشكل الكلية .
(جـ) قسم من المنطقة ـ ب ـ يحمل حافظة سبورية (مكبرا).

(شكل 25ـ12أ) وعند قواعد الاوراق توجد حوافظ سبورية على شكل الكلية تحوى السبورات (شكل 25ـ12ب،جـ).

هذا ويعتبر الاستروكسيلون Asteroxylon mackiei (شكل 25ـ5)، واحد آخر من الليكوبسيدات المنقرضة، عاش فى العصر الديفونى الأوسط. ويحتمل ألايزيد طول هذا النبات عن 60 سم، اما سيقانه القائمة والمتشعبة فكانت تكسوها أوراق مخرزية الشكل Awl- Shaped Leaves، يبلغ طول الواحدة منها 4 مليمترات . اما سيقانها الهوائية فقد نشأت من ريزومات خالية من الاوراق اخترقت فروعها الصغرى الخث peat الذى كان ينبت فيه النبات، وربما اتخذت وظيفة اعضاء المص. أما الاسطوانة الوعائية للساق

فكانت تخلو من اللب وتتكون من الانسجة الابتدائية ليس الا، تخرج منها حزم وعائية دقيقة او «آثار الورقة» Leaf traces. التى امتدت مع ذلك فقط الى قواعد النتوءات وكانت حوافظها السبورية عبارة عن اجسام كبيرة تميل الى شكل الكلية وتتصل باعناق بالمحور، وتنتشر بين الاوراق. كان كل من البراغواناثيا والاستروكسيلون من أعرق نباتات الارض التى كانت أسلافها من بين البسيلوبسيدات ذات الحوافظ السبورية الجانبية. ولقد أبرزت تشابها كبيرا مع الحزازيات الصولجانية فى عالمنا المعاصر.

بعض مراحل نشوء وتطور النبات: Some Stages in Plant Evolution

يستحيل علينا تعقب الخطوات الدقيقة التى مرت بها انواع النباتات البدائية فى ارتقائها سلم النشوء والارتقاء. غير أن المراحل الهامة فى ارتقاء المملكة النباتية تكون واضحة المعالم وسوف نتعرض لبعضها فى الفقرات التالية.

الخلية وتطور الحياة Evolution of Life and the Cell

يشمل مفهوم الارتقاء العضوى وجهة النظر القائلة بأن الحياة قد نشأت وارتقت تلقائيا من مواد غير حية. أما الخطوات المحتملة التى مرت بها هذه العملية فكانت موضوعا لنقاشات حادة، ولتجارب مضنية يمكن اعتبارها والتعرض لها بإيجاز هنا. فمن المعتقد أن الحياة قد نشأت وتطورت فى وقت مابين استقرار كتلة الارض الذى حدث منذ حوالى 4.6 مليار سنة مضت، وبين ظهور الحفريات الاوائل اى منذ 3.1 مليار سنة مضت اى قبل ان تترسب اوليات الصخور الرسوبية بلا تغيير، وهذا يعنى حوالى 3.2 مليار سنة مضت. وربما ظهرت أولى الخلايا الحية فى فترة مابين 3.4 و 3.3 مليار سنة مضت. ومن هنا نجد أن أوليات مراحل نشوء الحياة وارتقائها لم تحتفظ بها سجلات الحفريات.

تتضمن النظرية القائمة عن أصل الحياة مبدأ وجوب وجود استمرارية أساسية بين المادة غير الحية وبين الكائنات الحية. وعلى الرغم من أن هذا التطور قد اكتسب صفة الاستمرارية، فانه يمكن التعرف على مرحلتين عامتين منه: (1) مرحلة التطور الكيميائى Period of chemical evolution، ونعنى به التطور بمستوى الجزىء الذى تضمن تخليق الجزيئات العضوية من مصادر غير حية، (2) مرحلة ترتيب هذه الجزيئات فى مادة حية. ويحق لنا اثناء محاولة تصور إعادة بناء الخطوات التى تقودنا الى أصل الحياة، ان نبدأ بالمواد المتاحة لانتاج الجزيئات العضوية، ومصادر الطاقة وكذلك الظروف السائدة على الارض البدائية. كان الهواء المحيط مختزلا ونعنى بذلك خلوه من الاكسجين، فكان يحتوى على الأمونيا NH3 فى الاساس والميثان CH4 والهيدروجين H2 وبخار الماء. ولقد ذاب بعض من الامونيا والميثان فى الماء الذى كانت تحويه البحار القديمة كما كان الكبريت والفوسفور وغيرهما من العناصر المعدنية متاحا فى هذا العالم. وكانت مصادر الطاقة وفيرة بحق من اشعاعات الشمس القصيرة الموجات وفوق البنفسجية، تلك الإشعاعات التى تحمى الارض منها الان طبقات من الاوزون ozone وربما كان هذا المصدر هو الاهم، وكذلك النشاط الاشعاعى radioactivity الذى كان أكبر مما هو عليه الآن، وكذلك الطاقة الحرارية من ثورات ـ البراكين وحممها Lavas. وفى ظل هذه الظروف أدت التفاعلات الكيميائية الى تكوين العديد من أنواع الجزيئات العضوية وتشمل الاحماض الأمينية amino acids، التى تشكل الان محتوى الخلية الحية. وتراكمت هذه الجزيئات العضوية عبر أحقاب زمنية طويلة، «كالحساء» Soup فى المياه الضحلة للبرك والبحار الأولية. والجدير بالذكر ان مثل هذه المركبات اذا تكونت اليوم وهو حدث بعيد الاحتمال فى ظل الظروف البيئية المعاصرة فسوف تتأكسد بسرعة أو تستهلكها الكائنات غير ذاتية التغذية.

يعضد النظرية السابقة عدد هائل من الاختبارات والتجارب التى أجريت فى بيئات اصطناعية مثلت ببيئة ماقبل الحياة ففى احدى أوائل هذه التجارب (عام 1953)، عرض خليط من الميثان والامونيا والهيدروجين وبخار الماء، محبوس فى غرفة زجاجية مغلقة، الى تفريغ كهربائى electric discharge (زود محتوى الغرفة بالحرارة وبحزمة من الالكترونات وبأشعة فوق البنفسجية)، وبعد تعريض المحتوى لتلك المصادر لمدة أسبوع اكتشف تكون عدة أحماض أمينية معروفة الان، هذا بجانب عدد من المركبات العضوية. ومنذ عام 1953 أجريت مئات من التجارب

استخدمت مختلف أنواع الخلائط والتقنيات ومصادر الطاقة. لم تكتف التفاعلات الناتجة عن تزويد تلك الخلائط التى تكونت من «الغازات البدائية» Primitive gases بالطاقة أو تزويد الطاقة الى النواتج المتكونة من تلك التفاعلات تدريجيا، بانتاج الاحماض الامينية وحدها، بل انتجت ايضا العديد من الجزيئات العضوية المعقدة مثل القواعد النيتـروجينية nitrogen bases والسكـريات البسيطة: الرايبوز deoxyribose, ribose والببتيدات الصغيرة small peptides. كما أن الإشعاعات فوق البنفسجية المسلطة على محاليل تحوى قاعدة نيتروجينية (ادنين adenine)، والسكريات خماسية الكربون Five carbon sugars، ومركبات الفسفور، قد أنتجت فوسفات الادينوزين adenosine phosphate. والادنيوزين ثلاثى الفوسفات ATP. إن اصل البروتينات المحتملة وربما كذلك أصل الخلية الأولية protocell قد كشف عنه تسخين خليط يتكون من 18 حامضا امينيا جافا ولمدة 3ـ4 ساعات، تحت درجة حرارة تساوى 170م ، ولقد نشأ عنه سائل بلون الكهرمان amber – colored، ولقد عولج هذا السائل بماء يغلى، وعند التبريد نتجت أعداد كبيرة من كريات دقيقة (قطر الواحدة مليمتر واحد). تسمى أشباه البروتينات Proteinoids، وكان لها الكثير من خواص البروتين الطبيعى. ويدعون أن مثل هذا الانتاج للبروتين يحتمل حدوثه بحرارة الحمم البركانية، وأن النواتج قد أزيحت الى البحار بفعل الامطار او تيارات المد والجزر وعلى أساس نتائج مثل هذه التجارب والعديد غيرها يسهل الاعتقاد باحتمال وجود وفرة كبيرة من أحجار البناء اللازمة للكائن الحى، وذلك قبل بدء الحياة نفسها.

وإحقاقا للحق علينا أن نعترف بأن هناك ثغرة ملموسة تفصل بين الجزيئات العضوية المعقدة، التى كانت موجودة فى «الحساء» الاولى وبين أول خلية حية. هذا وإن المادة الحية ليست منتشرة ولكنها مركزة موضوعيا فى خلايا منفردة يفصلها غشاء عن البيئة المحيطة. وتنص أقوى الفرضيات حول هذا الانتقال على أن الجزيئات العضوية الكبرى مالت فى مرحلة مبكرة من النشوء والارتقاء، نحو الاتحاد فى مجمعات جزيئية ربطت قوى الجذب بينها. ثم انفصلت هذه المجمعات عن المحلول واتخذت هيئة القطرات التى أحيطت بأغشية تسمى بالقوصرة coacervates ويكون حجمها كافيا لملاحظتها تحت المجهر. ولقد تمكن العديد من أنواع هذه الدقائق من التكون بالاعتماد على المواد التى تحتويها، واكتسب بعضها مزايا الاستقرار اكثر من غيرها.

كونت القواصر coacervates مستوى جديدا من حيث الترتيب والنشاط، كما تمكنت التفاعلات الكيميائية من الاستمرار ضمنها، وتمكنت المواد من الحركة من البيئة المحيطة اليها، مما أتاح للدقائق ان تزداد حجما ووزنا. ومع تزايد التفاعلات رويدا رويدا نشأت مركبات جديدة وربما كانت العوامل المساعدة فى البداية من المعادن مثل الحديد والنحاس، وربما كان العنصران الاخيران فى تراكيب عضوية، علما بأن الانزيمات قد تكونت فى مرحلة لاحقة . أما عن مكونات جزىء الحامض النووى الذى خلق فى الحساء الاولى، فقد انتظم داخل الخلية الاولية مكونا احماضا نووية، جنبا الى جنب مع الآليات اللازمة لاستنساخها وكذلك آليات تخليق البروتينات الانزيمية enzyme proteins. لقد قادت الخطوات الصغيرة للنشوء والارتقاء، المحكومة بالمبادىء المعروفة جيدا الكيميائية والفيزيائية على حد سواء، قادت كلها الى الخلية الحية. وكان هذا بطبيعة الحال تولدا من النوع التلقائى (الذاتى) spontaneous generation، نشأ عن استطاعة الجزيئات الحاوية للكربون، خوض تفاعلات تلقائية بمسارات خصوصية. والفرضية القائلة إن هذه التفاعلات قد حدثت ، مع ذلك ، اثناء طور واحد من تاريخ الأرض ، ونعنى بذلك أن نشوء الحياة قد قصر استمرارها على اشكال الحياة ما قبلها pre – existing life .

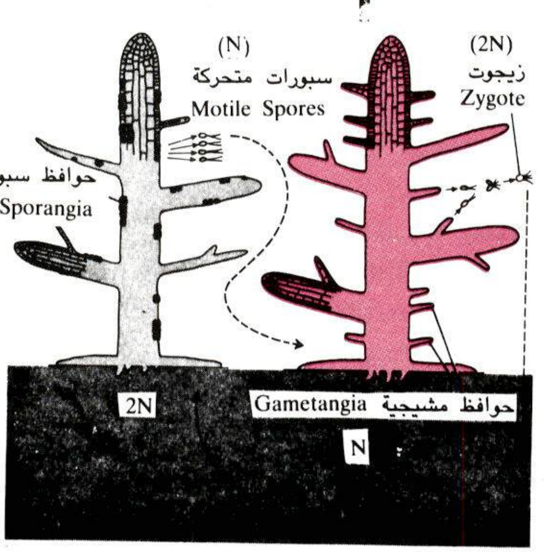
تواجه هذه الفرضية صعوبة واحدة تكمن فى التأثير الضار للأشعة فوق البنفسجية على القواعد النيتروجينية والأحماض النووية والبروتين . ومع ذلك فربما تكون الكائنات البازغة emerging organisms ومكوناتها الجزيئية قد وجدت فى أعماق لايصل اليها إلا الضوء المرئى ، أى فى الطبقات الدنيا من الحساء الأولى ، حيث قامت الجسيمات العضوية فوقها بحمايتها .

يفترض أن أعرق وحدات الحياة كانت من الكاريوتات الأولية procaryotes (وهى كائنات لاهوائية) anaerobic

تماثل الطحالب الخضراء المزرقة والبكتريا لا يجرى فيها انقسام فتيلى ، ولا تحدد عضيات خلاياها بأغشية) ، تعيش على المواد العضوية المحيطة بها . ولكن من المؤكد أن هذه المركبات العضوية كانت ستستنزف حتما مما يؤدى إلى نهاية الحياة لولا نشؤ الكائنات ذاتية التغذية الضوئية – photautotrophs ، تلك التى أخذت تحرر الاوكسجين . ومن المرجح أن البناء الضوئى photosynthesis عملية ضاربة فى القدم – إذ ترجح أعرق الحفريات كونها ذات قربى بالطحالب الخضراء المزرقة المعاصرة – التى كانت بالطبع تقوم بعملية البناء الضوئى ، ولا ينفى هذا الاحتمال وجود أشكال عريقة أخرى للحياة . ونتيجة لتحرر الاوكسجين فى البناء الضوئى يزداد تركيز هذا الغاز رويدا رويدا فى الهواء المحيط . ولمدة تزيد عن المليار سنة استمرت الحياة رغم ذلك على سمتها اللاهوائية والكاريوتية الأولية ، حتى سمحت نسبة تركيز الاوكسجين بتكوين طبقة من الاوزون حمت الأرض من الاشعاعات فوق البنفسجية التى أرسلتها الشمس ، مما أدى إلى حدوث التنفس الهوائى aerobic respiration . ولقد أتاحت الظروف الجديدة الفرصة أمام احداث تطور إلى اليوكاريوتات eucaryotes الهوائية الأكثر تطورا (وهى كائنات حية وقع فيها الانقسام الفتيلى ، وحددت أنويتها وعضياتها الأخرى بأغشية) . وكانت هذه إما نباتات أو حيوانات وحيدة الخلية ، بل وحتى عديدتها . إن هذه الأشكال التى ظهرت بين مليار ومليارين من السنين الماضية ، مع ما حوته من نواة منظمة وغيرها من العضيات وكذلك تكاثرها الجنسى قد انشأت ، عبر التغيرات التطورية مختلف أشكال الحياة فى عالمنا المعاصر .

الهجرة إلى الأرض The Migration to the Land

كما سبق أن بينا سالفا ، افتقرت السجلات الحفرية لشواهد حول طبيعة النباتات التى هجرت البحار وقطنت اليابسة . وحتى الآن فإن أعرق حفريات النباتات الوعائية المكتشفة تمثل كائنات حية قد تأقلمت تماما مع حياة اليابسة . ورغما عن ذلك فلقد تم قبول فرضية تدعى بنظرية التشابه Homologous theory ، قامت على دراسات الطحالب الحية وكذلك النباتات الوعائية الحية والمنقرضة على حد سواء ، منذ زمن بعيد بوصفها ترسم صورة مقبولة ، ليس فقط لاحداث التطور اثناء غزو الأرض ولكن أيضا لطبيعة الأسلاف المائية



شكل (25–13) رسم تخطيطى يوضح فرضية طبيعة الاسلاف الطحلبية لنباتات اليابسة الوعائية . الجيل احادى المجموعة الكروموسومية موضح بالالوان .

للنباتات الوعائية . وسوف نتعرض فيما يلى لأهم سمات هذه النظرية .

الأسلاف المائية *The aquatic ancestors*

كانت الطحالب الخضراء تعيش فى المياه الضحلة للبحار القديمة ، وكانت هذه الطحالب تتمتع بمنظومة شريطية ، اعطيت فيما بعد شرائط قائمة مما أدى إلى اتاحتها الفرصة لزيادة تعرضها للضوء والغازات الذائبة . ومن ثم أصبحت خلايا الشرائط القائمة مقسمة بجدران طويلة مكونة مجموعة خضرية عديدة الخلايا ومتفرعة (شكل 25 – 13) . كما نمت عناقيد خلوية clusters of cells من القسم الأسفل للمحور القائم عملت هى والشرائط الممتدة على تثبيت النبات . وداخليا نجد أن الخلايا البرنشيمية parenchyma cells ، المستطيلة وكذلك نظام من الخلايا القمية apical cells ، قد كونت بادرات المنظومة الوعائية ونظاما للنمو غير المحدود .

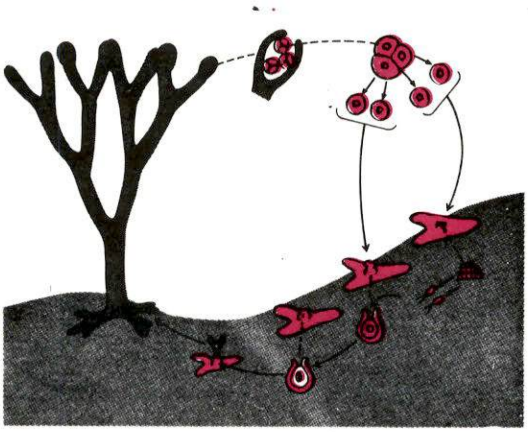
يكـون من المهم اثناء تتبـع أصـل تعـاقب الأجيـال ، كمـا تكشف عنه النباتات الوعائية الحية ابراز مبـدأ مفاده أن ذلـك الشكل السلفى قد حدث فى طورين (شكـل 25 ـ 13) : (1) حمل الطور الأول (2n) ، أو الطور السبورى حـوافظ سبوريـة ظـاهرة superfecial sporangia ، حـوت سبورات متحـركة صنعت الانقسام الاختزالى التالى . أما السبـورات فقد أنتجت عند انباتها . (2) نبات الطور المشيجى (n) وجاء مطابقا للطور السبورى ، فيما عدا كونـه قد أنتـج الأمشاج gametes بـدلا من السبـورات spores . أما الأمشـاج التى يحتمل أن تكـون من النوع المتماثل الأمشاج isogametes ، فقد تكونت داخـل حوافظ الامشاج gametangia متعددة الخلايا . وهى أسلاف الارشيجونات archegonia والانثريدات antheridia . ونتج عن انـدماج الأمشـاج المتحـركـة فى المـاء زيجـوت zygote ، أنشأت بدورها طورا سبوريا مباشرا .

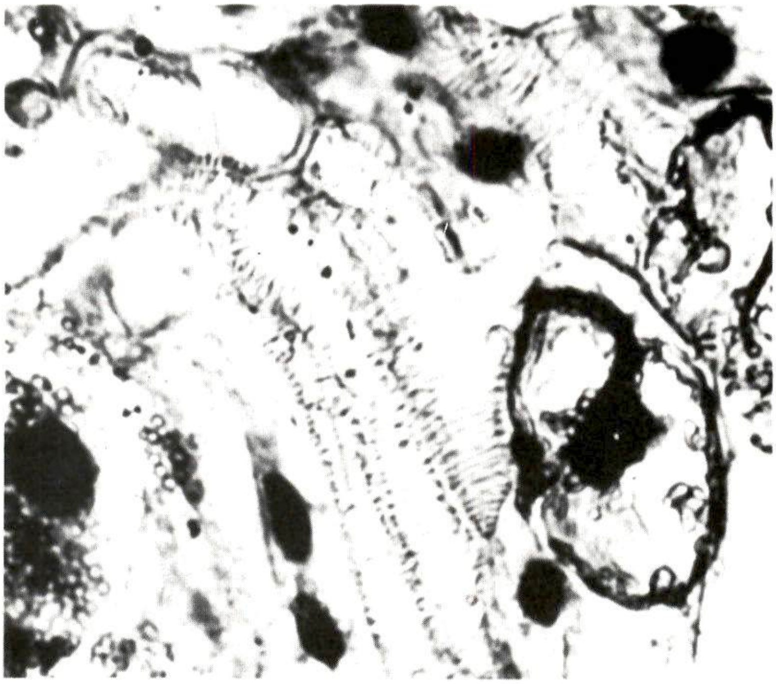
الهجرة إلى اليابسة *The transition to the land*

ربما تكون النباتات قـد قطنت مناطق المـد والجزر أو بـركا مـالحة تكـونت مع نشـوء الأرض تدريجيـا من البحـر ، ممـا عرضها تدريجيا أو دوريا لعوامل التجفيف بالشمس والهواء ، وذلك اثناء هجرتها إلى اليابسة . استمـرت هذه العمليـة ردحا طويلا من الزمن ، من نصف مليون سنة إلى المليون ، ونشـأت اثناء هذه الفترة تحورات اتاحت للنبات فرص العيش والتكاثـر فى البيئـة المحيطة الجـديدة . فقـدت السبورات قـدرتها عـلى الحركة وغلفتها طبقة كيوتينية ، افسح المجال لانتشارها بفعـل الرياح . كما بزغت ايضـا البشرة والثغور .. وأصبحت خـلايا الشريط البرنشيمى المركزى أكثر طولا ، ومن ثم تمايزت مكونة نسيجـا وعائيـا . وأثناء وقـوع هذا التكليف المتـوالى وظروف الأرض ظهر اتجاه هام بالنسبـة للحجم النسبى ودرجة تعقيـد الجيلين . إذ صار جيل الطور المشيجى أكثـر اختزالا ، بينمـا تعـرض جيل الطـور السبورى لنمـو أكبر وللـزيادة فى حجمـه (شكل 25 ـ 14) . وبطبيعة الحـال فقد أتـاح الحجم الأكبر للطور السبورى الفرصة أمام احداث انتشار السبورات بفعالية أكبر.لقد أدى نمو وازدهار الطور السبورى إلى أن يغـزو الجزء القـاعـدى من المنظـومـة المنتصبـة التى اكتسبت الصفـات الوعائية مادة الأساس subtratum المحيطة . ولقـد أدى هذا إلى تزويد النبات بوسائل امتصـاص الأملاح والغـذاء بجانب سبل الدعم الاضافية . كما كان اختزال الطور المشيجى مفيدا لكونه قد قرب الحـوافظ المشيجية من مستـوى التربـة ، حيث كانت الرطوبة أكثر توفرا . وربما يكون قد وقـع بعد ذلـك عدم تسـاوى الأمشـاج oogamy ، ممـا أدى إلى تحـول الحـوافظ المشيجيـة إلى ارشيجونـات وانثريـدات وهى التـركيب الـذى احتفظت بـه الكثير من أنـواع النباتـات الوعـائية منهـا وغـير الـوعائيـة على حـد سواء إلى يـومنا هـذا . أعقب التطور غـير متساوى الأمشاج الاحتفاظ بالمشيج الأنثوى ، وذلـك فى الطور المشيجى ، ومن ثم أنشاء هذا المشيج جسم النبات (شكل 25 ـ 14) . ومن هذا النمط البدائى يمكن أن يكون قد نشـأ عدد من مسارات التطور تباينت فى مناحى تشعبهـا وتفرعهـا ، وفى موضع حوافظ سبوراتها وفى طبيعة مرحلة طورها المشيجى .

ويدعون أن الطور المشيجى ، على الرغم من بقائه حيا لمـدة أقصر من عمـر الطور السبـورى ، إلا أنه كـان طـويـل العمـر نسبيا ، وأنه بقى اثناء ذلك قادرا على القيـام بالبنـاء الضوئى ومحتفظا لوقت ما بقدر محدود من النسيج الـوعائى . ومن ثم فلقـد صار من سكـان اليابسـة واكتسب صفـة فطر الجـذر mycorrhizic ، الأمر الذى يفترض أنه شكل المحور القصـير والاسطـوانى اللحمى الـذى يتشعب أحيـانـا والـذى يحمـل أعضاء الجنس على كـامل سطحـه والذى نمـا ببطء بواسطـة

شكل (25ـ14) احد نباتات اليابسة الافتراضية ، اختزال جيل الطور المشيجى . الجيل ثنائى المجموعة الكروموسومية مظلل والجيل احادى المجموعة الكروموسومية ملون .



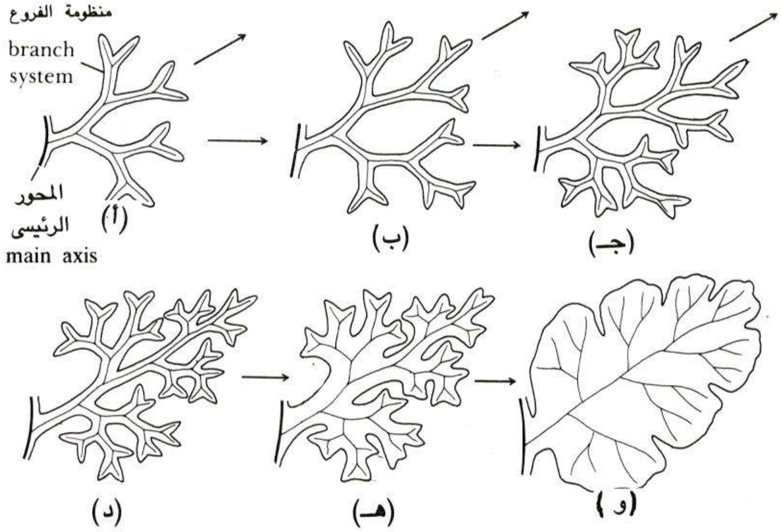


شكل (25ـ15) نسيج وعائى فى ثالوس اولى سرخسى ، استزرع فوق بيئة غذائية معدنية صلدت بالآجار وحوت نسبة 3٪ من السكروز

مـرستيم قمى . ولقد تم العثـور على أطـوار مشيجية من هـذا النمط فى عـائلات بـدائية عـديـدة من الفيليكـالس Filicales (فصيلـة مـن السرخسيـات) وبضمنهـا البسيلـوتيشيـا psilotaceae (تـابعة لقسم البسيلـوبسيـدا) . وبـالنسبـة للسرخسيات الأخرى (افيـوغلوسـاليات ophioglossales) وكذلك الحزازيات الصولجانيـة lycopodium ، فربمـا كانت الأطـوار المشيجية التى سكنت اليـابسـة مستطيلـة كثـيرا أو قصيرة شبه أنبوبية ، عمرت كثيراً فى التربة . كمـا أن هذه هى وما قطن اليابسـة من الثـالـوسات الأوليـة للفيليكالس ، يمكن النظر اليها كسمات للأسـلاف قد ظهـرت فى خضم الهجرة إلى اليـابسة اثنـاء العصور مـا قبل الـديفونيـة . كمـا أن أصـل الثالوس الأولى الأخضر الذى اتخذ شكل القلب المعروف ، يظل غامضا ولكن من الممكن افتراض أنه قد نشأ عبـر العديـد من خطـوات التطور عن الثـالوس الأولى اللحمى الأسطـوانى للسراخس الابتدائية . علما بأنه قد تفلطح وأصبح يعيش عـلى السطح اثناء انخراطه فى التطور . والدلائل متوفرة أيضا عـلى أن جيـل الطـور المشيجـى قـد حـوى فى السـابق نسيجا وعائيا مثل وجود القصبات فى الطور المشيجى للبسيلوتم Psilotum كما تظهر هذه القصبات ايضا فى الثالوسات الأولية السرخسية التى تنشىء اجنة لامشيجية apogamous embryo (أى تلك التى تنشىء طورا سبوريا من الخلايا الخضرية للطور المشيجى) ويحتمل ان يكون نشؤها مولدا عن الثالوسات الاولية المزروعة فى اوساط اصطناعية تحوى تراكيز سكرية عالية (شكل 25 ـ 15) .

مكونات جسم النبات Plant Body Components

يكون الجنين المجموع الخضرى فى غالبية النباتات الوعائية وتتألف هذه المجموعة الخضرية من ساق واوراق وجذر ابتدائى فى العادة ويكون اصل الجذر غامضًا . اذ تنص احدى النظريات على ان الجذر الابتدائى ينشأ عن فرع ترابى من الساق العارية من الاوراق،ويكون ذلك فى نباتات تماثل بعضا من الراينياليات . كما ان هذا الجذر كون



شكل (25ـ16) (أ ـ و) مراحل تصور نظرية الاصل التطورى للأوراق الكبيرة المستطيلة مثل التى فى السراخس . اقرا الشرح فى النص

لنفسه قلنسوة واستبقى صفة الاسطوانة الوعائية الخالية من اللب . تلك الصفة التى كانت من صفات ساق العديد من النباتات القديمة .

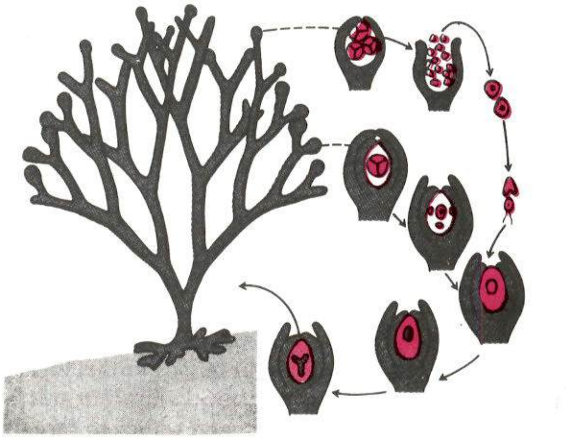
تعرض اصل الورقة التطورى لتساؤلات ودراسات استمرت طويلا ويحتمل ان يكون منشأ الورقة قد اتخذ عدة مسارات ففى اللاسكوبسيدا يعتقد ان الورقة قد نشأت عن الساق على هيئة نمو خارجى ظاهرى اكتسب لنفسه فيما بعد الصفة الوعائية وتمثل الورقة فى نباتات وعائية اخرى قسما من محور متفرع تعرض للتفلطح والاستطالة . يصور الشكل (25 ـ 16) هذا المبدأ العام بتطبيقه على اصل اوراق السراخس وبعض النباتات الوعائية الدنيا الاخرى . ففى الشكل (25 ـ 16 أ) اصبحت المنظومة المتفرعة المجسمة مفلطحة ومن ثم صارت منظومة متساوية وثنائية الشعب dichotomous . ومن هنا يبدأ فعل عدة عمليات مجتمعة اولا : تطورت شعب كل واحدة من ثنائيات التشعب وبصورة غير متكافئة فاصبحت احدى الشعبتين اقوى من الاخرى ومن ثم تعرضت الاخيرة لازاحة جانبية (شكل 25 ـ 16 ب ، جـ) وتسمى هذه العملية بعملية السيادة وينتج عنها محور وسطى وشعب جانبية (شكل 25 ـ 16 د) . ثانيا : تفلطحت هذه الشعب ثم تمددت (شكل 25 ـ 16 هـ) ، واخيرا عبر عملية تسمى النسج Webbing ، صار النسيج البرنشيمى متصلا بين الشعب ومن تم نشأ نصل الورقة (شكل 25 ـ 16 و) . تجد مثل هذه النظرية عند تطبيقها على ورقة السراخس وغيرها من النباتات الوعائية الدنيا تعضيدا لحد ما فى السجلات الحفرية ، هذا علما بأن مدى تمشيها مع نشؤ ورقة النباتات البذرية لايزال موضع بعض التساؤلات وربما تكون الورقة البسيطة الظهرية البطنية dorsiventral لأحد نباتات مغطاة البذور angiosperm ، على سبيل المثال ، مجرد واحدة فقط من نتائج الانقسام فى نظام التفرع .

البذرة وتباين السبورات : Heterospory and the Seed

تنتج معظم النباتات الوعائية الدنيا نوعا واحدا فقط من السبورات وهى حالة تعرف باسم تجانس السبورات homospory . فمعظم السراخس هى متجانسة السبورات وتتسم بهذه الصفة نباتات معينة اخرى بين النباتات الحية : البسيلوتاليات Psilotales والحزازيات الصولجانية Lycopodium ونباتات ذيل الحصان Equisetum . تنبت سبورات هذه الاشكال فى التربة وتنتج طورا مشيجيا يكون

مستقلا غذائيا عن طوره السبوري كما تحمل كلا نوعي الاعضاء الجنسية على نفس الثالوس الاولى الواحد . ومع ذلك توجد حالة تباين السبورات فى عدد من الاشكال الدنيا اذ تتضمن نوعين من السبورات مثلما هى الحال فى الحزازيات الصولجانية الصغرى (السيلاجرينيلا Silagrinella) مثلا (فصل ـ 26) ويكون واحد من النوعين وهو السبور الكبير megaspore ، اكبر كثيرا من الآخر السبور الصغير microspore . يولد نوع السبورات هذه فى حوافظ سبورية مختلفة تسمى على التوالى بالحوافظ السبورية الكبيرة Megasporangia والصغيرة microsporangia عند تباين السبورات يكون كل سبور مثلما فى حالة تجانس الاشكال ، ثالوسا ابتدائيا غير انه يكون فى الحالة الاولى مختزلا كثيرا greatly reduced ، يبقى كله او جله داخل الجدار السبوري وينمو على حساب الغذاء المخزون فى السابق على الرغم من ان مصطلح تباين السبورات يستخدم عادة فى وصف السبورات التى تختلف حجما بصورة مرموقة الا ان هناك صفة اخرى اكثر اهمية تكمن فى ان هذه السبورات كلها احادية الجنس unisexual ، فالسبور الكبير ينتج ثالوسا اوليا مؤنثا بينما ينشأ فى السبور الصغير ثالوس اولى مذكر . وبهذا تكون الاعضاء الجنسية والامشاج مقصورة على اطوار مشيجية مختلفة .

اما اذا اعتبرنا النباتات البذرية المعاصرة كالمخروطيات conifers وغيرها من النباتات البذرية بما فى ذلك النباتات الزهرية فاننا نجدها تدخل ضمن متباينات السبورات ويعتبر مصطلح تباين السبورات فى هذه الحالة خطأ شائعا اذا ما اخذنا حجم السبور وحده فى الاعتبار فلقد اوضحت القياسات ان السبور الكبير يمكن ان يكون اكبر او اصغر حجما من السبور الصغير او ربما يكون النوعان متساويين حجما تقريبا . ومن هنا نجد ان هذه النباتات تكون متباينة السبورات من الناحية الوظيفية فقط . ويحق لنا والحال هذه ان نسمى سبوراتها الصغيرة والكبيرة بالذكرية والانثوية على التوالى ، مؤكدين فى ذلك على نوعى الطورين المشيجيين والامشاج التى ينتجها كل منهما دون اعتبار لحجم السبورات . ومهما كان المصطلح المستخدم فان مصطلح



شكل (25ـ17) نبات بذرى افتراضى عريق ، ينتج السبور الكبير ثالوسا اوليا انثويا على النبات الانثوى حيث يقع الاخصاب . وضح الجيل الثنائى المجموعة الكروموسومية بالتظليل ، بينما وضح الجيل احادى المجموعة الكروموسومية بالالوان .

تباين السبورات فى حالة النباتات البذرية يتداول مصطلحه بسبب التعود والسهولة ليس الا .

الاعتقاد السائد هو ان النباتات البذرية سواء الحية منها أو المنقرضة قد تكونت عن اسلاف متباينة السبورات ، اكتسبت عادة الاحتفاظ بالسبورات الكبيرة داخل حافظتها بدلا من لفظها . ويمكن ان تكون السبورات الكبيرة اكبر فى الاصل من السبورات الصغيرة ولكنها تعرضت لاختزال الحجم عندما تكرر الاحتفاظ بها داخل حافظة السبورات الكبيرة . ومن ثم انبتت السبورات الكبيرة وكونت ثالوسات انثوية اولية بقيت على حالها داخل جدران السبورات (شكل 25 ـ 17) . فى النباتات القديمة متباينة السبورات احتوى السبور الكبير كميات ضئيلة من الغذاء ، حيث حال حجمها الصغير دون تخزين كميات اكبر . ويكون ما ذكرنا صحيحا ايضا فى حالة النباتات المعاصرة . غير ان تقدما تاليا قد حدث فى النباتات البذرية . فعن طريق التلامس بين جدار السبور الكبير وبين النباتات الام تمكن الطور المشيجى الانثوى من الحصول على الغذاء اللازم لنموه وذلك عن طريق النباتات الام اكثر من الانتفاع بالمواد المخزونة فى السبور نفسه .

كما ان السبورات الصغيرة (الذكرية) قد انبتت ايضا وكونت لنفسها اطوارا مشيجية ذكرية . والاخيرة التي كانت لاتزال محاطة بجدران سبوراتها قد لفظت من الحافظة السبورية وانتثرت بفعل الرياح والماء ، ومن ثم وقع الاخصاب فوق النبات الام . كانت الامشاج الذكرية متحركة في البداية ومن ثم وصلت الى البيضة عندما توفر لها ماء المطر او الندى ليس الا،وفي وقت لاحق نشأت انبوبة اللقاح pollen tube ، واصبح السبرم غير متحرك . ولاتزال الامشاج الموجودة داخل انابيب اللقاح في بعض النباتات البذرية الحية تحتفظ ببعض اعضاء الحركة .

بعد عملية الاخصاب تحول الجنين والثالوس الاولى الانثوى جنبا الى جنب مع تركيب اضافي - غطاء البذرة - الى شكل جديد هو البذرة . لقد فقدت بذور النباتات الحية للبلوط والصنوبريات والطماطم والذرة الكثير من صفات اسلافها ، الا انها احتفظت ايضا بالسمات التركيبية الكفيلة بأن تمنحنا فكرة ولو بخطوطها العريضة عن تاريخها الماضي وربما حق لنا ان نعتبر البذرة تتويجا لسلسلة من مراحل التطور بدأت من الثالوس الاولى البسيط في عالم غابر .

في المخروطيات المعاصرة وانواع بعينها من النباتات البذرية يتضخم كثيرا الطور المشيجى الانثوى قبل الاخصاب والسبب في ذلك ان هذا الطور ينتج ارشيجونات وبيضات وتتجمع المواد الغذائية بوفرة - اما بعد الاخصاب فيحيط هذا الغذاء الزيجوت اثناء نموه الى ان تصبح جنينا. يمكن مقارنة اختزان المواد الغذائية قبل الاخصاب في حالة الطيور والزواحف reptiles . فصفار البيضة (المح) في هذه الحيوانات يماثل الغذاء المتجمع في الطور المشيجى الانثوى .

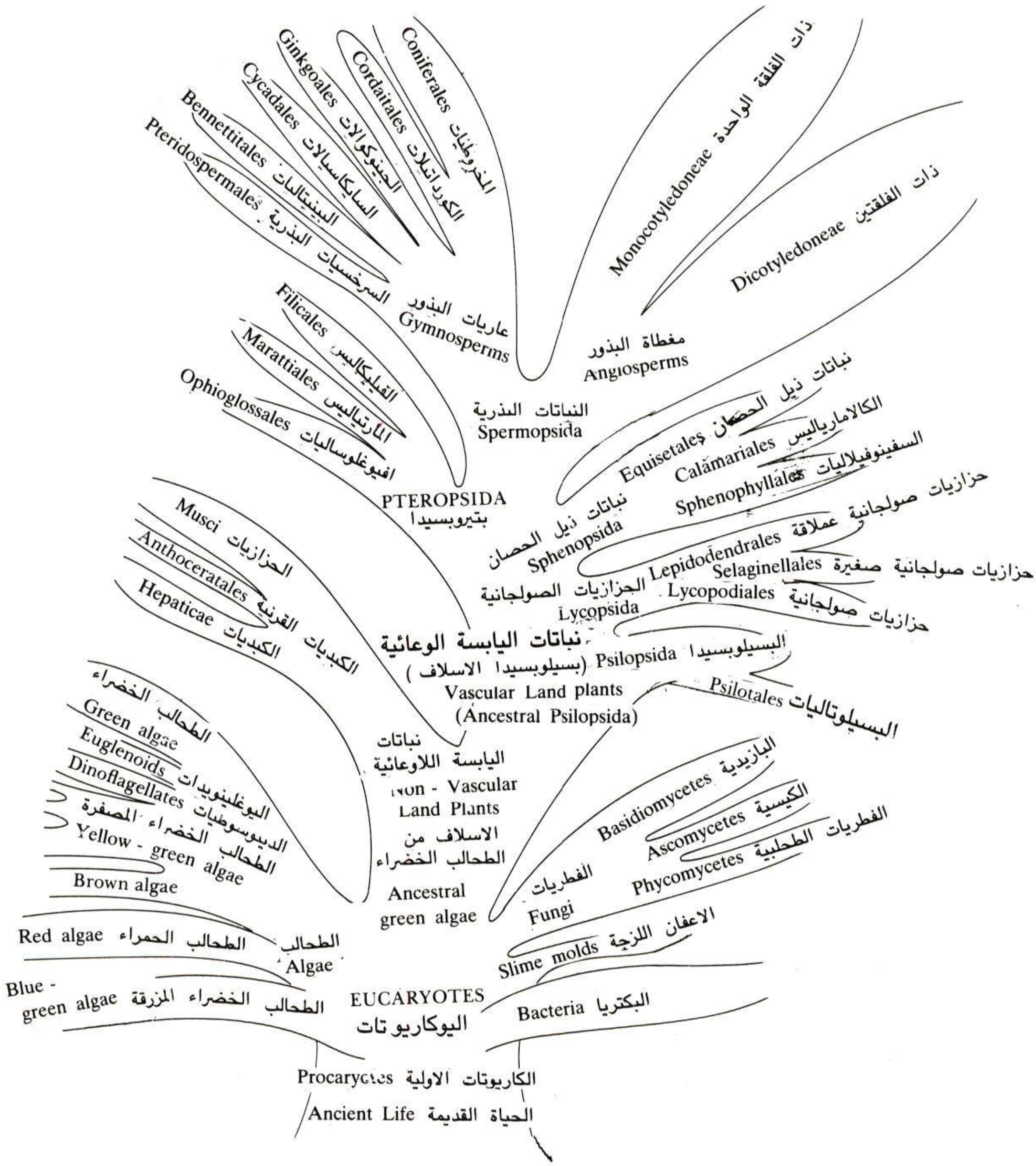
وتظهر حالة مغايرة في النباتات الزهرية ، اذ يأتى مورد الغذاء اللازم لنمو وتكوين الجنين من النبات الام بعد وقوع الاخصاب ولا يتم تخزين الغذاء الا بعد حدوث الاخصاب .

ويتشابه هذا ما مع الحالة الموجودة في الثديات mammals حيث يكون الجنين معتمدا في غذائه على الام التى تمده بالغذاء عبر الحبل السرى umbilical cord · ويعتبر هذا النموذج في كل من الثديات والنباتات الزهرية تحسينا في عمليه التكاثر ، بسبب عدم استخدام الطاقة في تجميع احتياطى الغذاء اللازم للجنين الى ان يتكون الجنين وكقاعدة عامة تنفصل البذرة عن النبات البذرى الام الحى فقط عندما يكتمل تكوين الجنين وعندما يتيسر له ما يحتاج إليه من غذاء .

يكون السبور الكبير بما يحتويه من كمية صغيرة من الغذاء بمثابة مرحلة السبات بالنسبة للنباتات الدنيا متباينة السبورات . إلا ان هذه المرحلة في النباتات البذرية المعاصرة تحدث بعد ذلك بوقت ، اى بعد ان يكتمل نمو الجنين . ويعزى نجاح النباتات البذرية في ذلك الى حد كبير إلى المزايا التكاثرية نتيجة لابقاء على السبور محميا ومزودا بالغذاء . وربما يتناقض ذلك مع حالة كان فيها السبور الكبير ضئيل الحجم متحررا ، وعندما نما الثالوس الاولى مستقلا بذاته . تعرضت البذور مثلما حدث في متباينات السبورات للتطور والارتقاء في أزمان مختلفة وفي مسارات تطورية متباينة . وانقرضت بعض هذه المسارات ، بينما اصبحت مسارات اخرى ومنها المخروطيات ومغطاة البذور اساسا بارزا بين النباتات الحية .

الزهرة The Flower

لم تتمخض السجلات الجيولوجية الى حد الان عن حفريات لاقدم النباتات الزهرية ولذا تعتبر المراحل الانتقالية في تطور وارتقاء الزهرة غير معروفه . فلقد عثر على الحفريات القديمة التى تعتبر بدون ادنى شك لمغطاة البذور ضمن العصر الجيولوجى الطباشيرى الادنى Lower Cretaceous ، ربما منذ 120 مليون سنة فالاخشاب في الحفرية وكذلك حفريات حبوب اللقاح من العصر الجوراسى Jurassic ، قد صنفت على أنها من مغطاة البذور ، كما وجدت ورقة تشبه سعف النخيل من العصر الترياسى Triassic ، إلا ان الشواهد المقنعة على ان النباتات الزهرية قد عاشت قبل العصر الطباشيرى تعتبر غير موجودة . ورغما عن ذلك فقد قادتنا صفات مغطاة البذور المحددة تماما ، والتى ظهرت في اعرق حفريات العصر الطباشيرى المعروفة الى الاعتقاد بأن مغطاة البذور قد عاشت وظهرت فعلا قبل العصر الطباشيرى . ولكن يظهر الابهام فقط في تحديد هذه الفترة السابقة على العصر ، الا ان بعض المؤلفين يعتقدون ان



شكل (25_18) منظر تخطيطى للمملكة النباتية .

مغطاة البذور قد مرت حتما بفترة من التطور الارتقائى استمرت منذ اواخر العصر القديم Paleozois (Permian) . بنشوئها من بعض النباتات البذرية القديمة طورت النباتات الزهرية لنفسها بنية متقدمة هى الكربلة Carpel ، التى تغطى البذرة وتحميها . وأما الباقى من النباتات البذرية الاخرى فنجد ان حبوب اللقاح فيها تنتقل الى اقرب حيزا الى البويضة ovule ، غير انها تترسب فى النباتات الزهرية فوق سطح استقبال تخصصى هو الميسم stigma. تحرز النباتات االزهرية فى عدد من الانواع بل والافراد وفى تكيفها مع الاختلافات الكبيرة للظروف البيئية ، نجاحا اكبر مما تحرزه عاريات البذور Gemnosperms ، ولذا تعتبر اكثر افراد المملكة النباتية تطورا .

العلاقات بين النباتات : Plant Relationships

وكما سبق ان ذكر فى بداية هذا الفصل تعتبر نباتات يومنا أفرادً فى مجاميع عاشت وتعيش ويمتد اصلها الى زمن بعيد جدا . يمكن ملاحظة شواهد نشوئها وارتقائها من خلال التغيرات فى شكلها وتركيبها عبر العصور الجيولوجية ، وكـذلك فى تبـاين شكل وبنية النـباتات الحـية.

وانطلاقا من هذه القـاعدة حاول بعض علماء النبات رسم نظام التطور السلال Phylogenetic system أى مايسمى باللغة المتداولة شجرة «النسب» « Genealogical « tree للمملكة النباتية ـ بما فى ذلك من مختلف الفئات التى انتظمت فى خطوط ارتقائية مستمرة توضح النهج الدقيق الذى سارت فيه المجاميع العظمى وترابطت فى اصلها . وان شئنا الدقة فإن هذه «الشجرة » القائمة على مستوى معرفتنا الحالى تفتقر الى البرهان القاطع على صحتها ، قبل كل شىء بسب انقطاع السجل الجفرى فى بعض من مواضعه . ومع ذلك يمكن تقديم صورة لما لدينا من معلومات مرتبة بحيث توضح التفارق التطورى evolutionary divergence ، وتبرز بعض الاتجاهات التطورية لتكشف عن تلك العلاقات الطبيعية الرابطة التى تكون بمثابةالاساس فى التصنيف يوضح الشكل (25 ـ 18) مخططا للمملكة النباتية .

الخلاصة Summary

1 ـ تدرج تطور المملكة النباتية بصورة عامة من الاشكال البدائية والبسيطة التركيب إلى كائنات اكثر تعقيدا .

2 ـ استنبط الكثير من الشواهد التطور العضوى من دراسة الحفريات ومن الدراسات المقارنة على التراكيب الخضرية والتكاثرية للنباتات الحية

3 ـ تتضمن مختلف انواع الحفريات كلا من الحفريات التى تكونت بالضغط وبصمات الحفريات وقوالب الحفريات المملوءة والفارغة والحفريات المتحجرة . حيث ان ظروف تكوين الحفريات والحفاظ عليها كانت شحيحة عادة فلقد جاء السجل الحفرى ناقصا ومتقطعا .

4 ـ ينقسم الزمن الجيولوجى الى عهود وعصور واحقاب . ولقد وجدت اقدم الحفريات وبقاياها بلا منازع اساسا للبكتيريا والطحالب الخضراء المزرقة وذلك فى العصر ما قبل الكمبرى الادنى ، أى منذ حوالى 3,1 مليار سنة وتبدأ السجلات الحفرية للطحالب الخضراء المزرقة الكاريوتية منذ مليار سنة مضت تقريبا .

5 ـ وجدت حفريات اعرق نباتات اليابسة الوعائية فى صخور العصر السليورى والديفونى بنوع خاص . تبقى مجهولة الى الان طبيعة الرعيل الاول من نباتات الارض ، ولكن يعتقد أنها كانت شبيهة بأعضاء فصيلة الراينياليات من قسم البسيليوبسيدا ولقد عثر على امثلة لبقية الاقسام الكبرى الاخرى من النباتات الوعائية ، التى يحتمل ان تكون مشتقة عن البسيلوبسيدا وذلك فى العصور الديفونية المتأخرة .

6 ـ ان جنسى البسيلوتاشيا (البسيلوتاليات) يعتبران اكثر النباتات الوعائية الحية بدائية .

ولقـد صنفا منـذ القدم ضمن القسم الفـرعى للبسيليوبسيدا وإعتبرا عضوين بقيا على قيد الحياة من هذه المجموعة التى انقرضت . وتشير الشواهد الجديدة مع ذلك الى وجوب تصنيف البسيليوتاشيا ضمن الفيليكاليس (السراخس).

7 ـ كانت اولى مراحل تطور النبات مثلها مثل نظيراتها فى الحيوان هى تطور الخلية الحية. من بين المراحل الهامة التالية كانت هجرة النباتات من البحر الى اليابسة ، ثم تشعب جسم النبات وتخصصه الى جذر ومجموعة خضرية تحمل الاوراق ثم تطور تباين السبورات ثم البذرة فالزهرة .

8 ـ يحتمل ان تكون اقدم نباتات الارض قد نشأت من الطحالب الخضراء التى كان جيلاها المشيجى والسبورى متساويان حجما . وأثناء هجرة النباتات الوعائية الى اليابسة وترسخها فيها اختزل جيل الطور المشيجى تدريجيا والى حد كبير بينما تشعب اكثر فأكثر جيل الطور السبورى مما جعله يكون جسم النبات السائد .

9 ـ يرجع نجاح النباتات البذرية فى البقاء والازدهار بدرجة كبرى الى ميزة الاحتفاظ بالسبور الكبير على النبات الام وتزويد الاخير له بالغذاء الذى قد ينتفع به الجنين ، ينتقل المحتوى الغذائى الى الطور المشيجى الأنثوى قبل الاخصاب وذلك فى كل النباتات البذرية فيما عدا النباتات الزهرية التى يتراكم فيها مورد الغذاء للجنين بعد الاخصاب .

الحزازيات الصولجانية ونباتات ذيل الحصان
The Club Mosses and the Horsetails


26

الحزازيات الصولجانية ونباتات ذيل الحصان
The Club Mosses and the Horsetails

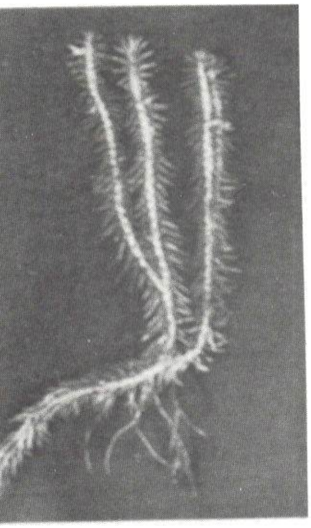
تتمتع الحزازيات الصولجانية Club Mosses (Lycopsida) ، ونباتات ذيل الحصان Horsetails (Sphenopside) ، بتاريخ طويل يمتد من العصر الديفونى الى العصر الحديث ، أى حوالى 400 مليون سنة . ليست لأفرادها الحية الآن أهمية تذكر بالنسبة للإنسان ، كما أنها لم تعد من المكونات الهامة لنباتات الأرض الخضراء التى تكسو سطحها فى عصرنا الحالى . ولكننا نجد أن الكثير من أنواعها التى انقرضت كانت تسود الأرض بشكل واسع فى الماضى . ففى بعض الحالات كانت هى النباتات الرئيسية التى سادت غابات المستنقعات أثناء العصر الكربونى . سوف يؤدى اكتساب المعارف عن تركيب أفرادها الحية الآن وكذلك دراسة طرق تكاثرها ، إلى العثور على الكثير من الأدلة التى تؤدى بدورها الى فهم أعمق للأنواع المنقرضة التى تدرس عن طريق بقاياها الحفرية فقط . وبسبب طول فترة حياتها على الأرض فى الازمان السحيقة ، ووفرتها الكبيرة آنذاك ، يتوجب إن تدخل الحزازيات الصولجانية ونباتات ذيل الحصان فى أية دراسة تستهدف مسح حياة النباتات التى قطنت الأرض .

الحزازيات الصولجانية The Lucopsida

تتجمع غالبية الأنواع الحية من الحزازيات الصولجانية فى مجموعتين هما جنسا الليكوبوديوم Lycopodium ، والسيلاجينيلا Selaginella . تعرف أنواع الليكوبوديوم (حوالى 450) باسم الحزازيات الصولجانية ، وكلها متجانسة السبورات . يتضمن جنس السيلاجينيلا حوالى 500 نوع تعرف فى مجموعها باسم الحزازيات الصولجانية الصغيرة ، أو حزازيات السنابل Spike Mosses ، وهى جميعها متباينة السبورات . ومرة أخرى نريد أن نؤكد أن الأسماء الشائعة تؤدى الى الاختلاط فى التصنيف ، فالنباتات التى ذكرناها ليست من الحزازيات ولاتمت إليها بصلة .

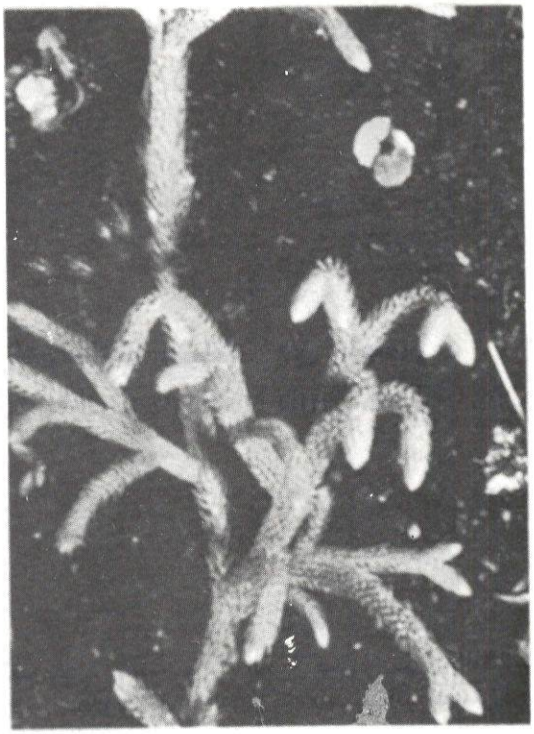
الليكوبوديوم : Lycopodium

توجد الحزازيات الصولجانية فى العادة فى مواطن تتشابه كثيرا مع مواطن السراخس . فغالبية أنواعها تعيش فى المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية ولكن بعضها يزدهر فى المناخات المعتدلة ، وخصوصا فى الغابات الباردة الرطبة فى نصف الكرة الشمالى . بعضها ينمو مرتبطا بالتربة بجذوره ، غير أن الكثير من الأنواع الاستوائية تكون من النباتات المعايشة Epiphytes ، إذ تخلل جذورها تجاعيد قلف Bark وجذوع Trunks أو فروع الأشجار . يعتبر الحزاز الصولجانى الوامىء (المنحنى) Nodding Clubmoss (Lycopodium cernuum) ، من أوسع الأنواع انتشارا ويرتبط بجذوره فى التربة . ويقطن فى المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية للعالمين القديم والجديد . تنمو هذه النباتات حتى يصل طولها الى 60 سم ، وقد يصل الى 150سم ، وهى بذلك تشبه الأشجار الصغيرة التى تحوى أعدادا غفيرة من الفروع التى





شكل (26ـ2) حزازيات صولجانية (الى اليسار) الحزاز الصولجانى الساطع Shining Clubmoss (Lycopodium Lucidulum)
(اليمين) الحزاز الصولجانى الشائع
Common or running Club moss (Lycopodium clavatum)

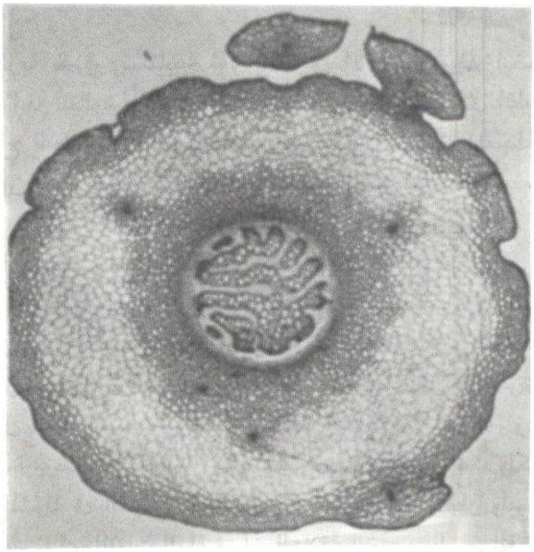


شكل (26ـ1) الحزاز الصولجانى الوامىء Nodding Clubmoss (Lycopodium cernuum) ينبت على شاطىء صلصالى تغطيه الحزازيات . نيوزيلاندا . يظهر فى الصورة جزء من النبات فقط .

يتكرر كثيرا تشعبها بشكل الشوكة من ساق رئيسية (شكل 26 ـ 1) . وتشكل فى بعض الأحيان أدغالا كثيفة . وربما ينمو النبات فى بعض المناطق حتى يصل طوله إلى حوالى الخمسة أمتار اذا ماساندته النباتات المحيطة . وعند البلوغ تنتهى الفروع الجانبية بتراكيب شبه مخروطية تتراوح بين 10 ـ 15 ملليمتر طولا (شكل 26 ـ 1) ، تحمل السبورات .

تكون الحزازيات الصولجانية التى تقطن المناطق المعتدلة من أمريكا الشمالية من النباتات الخضراء اليابسة ، وتتباين مواطنها وأحجامها (شكل 26 ـ 2) . يمكن للسيقان الهوائية أن تكون فى عناقيد ، لها جذور عند قواعدها أو أن تكون زاحفة Creeping ، مزودة بفروع قائمة تنشأ من سيقان أفقية تنمو فوق أو تحت سطح التربة . يتراوح طول الفرع القائم بين 50 ـ 75 و 150 ـ 200 ملليمتر . تعرف بعض الأنواع التى تتداخل أجزاؤها المنتصبة باسم صنوبر الأرض Ground Pine ، أو أرز الأرض Ground Cedar . وتستطيل السيقان الأفقية عن طريق نموها الطرفى مكونة فى العادة سيقانا جارية طويلة Iong Runners . عندما تموت الأجزاء القديمة تستمر الفروع الفتية فى النمو، ومن هنا يكون النبات الواحد عددا من النباتات المستقلة . تنتج هذه الطريقة الخضرية للتكاثر عادة مستعمرات كبرى فى أراضى الغابات والمروج .

غالبية أنواع الحزازيات الصولجانية تكون فى المنطقة المعتدلة من المعمرات perennials دائمة الخضرة ، وفى بعض الأحيان تباع لسوء الحظ من وجهة نظر المحافظة عليها كأشجار لعيد الميلاد Christmas Decorations . تكون أوراق الحزازيات الصولجانية كثيرة العدد وصغيرة ، كما تكون فى بعض أنواعها شديدة الشبه بالحراشف وغير بارزة لدرجة أن ينظر الى فروعها خطأ كأوراق . يكون تفرعها أحيانا ثنائى الشعب Dichotomous ، وقد تكون شعبها الثنائية متساوية وقد تكون واحدة منها أكبر قليلا من الأخرى . تخلو الطحالب الصولجانية اليافعة من المجموعة الجذرية الابتدائية ، بل تكون كل جذورها من النوع العرضى Adventitious ، وتخرج عن قوعد السيقان أو من الجانب الأسفل من الأقسام الترابية لمجموعها الخضرى . يكشف القطاع العرضى فى ساق أى نبات



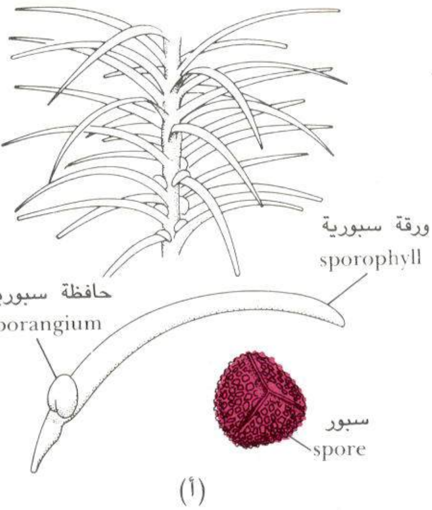
شكل (26ـ3) الحزاز الصولجانى ، قطاع عرضى فى الساق .

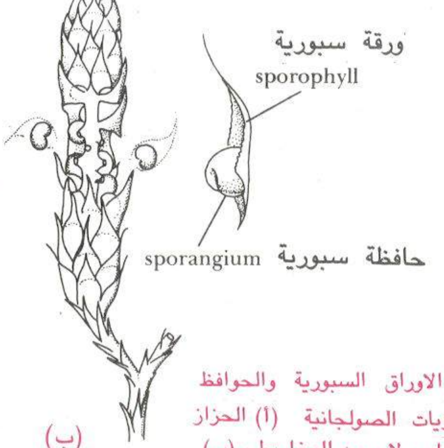
من الحزازيات الصولجانيـة (شكل 26 ـ 3) عن البشرة وقشرة واسعة واسطوانة وعائيـة خاليـة من اللب (اسطونـة مفرغـة) Pithless Vascular Cylinder ، تتكـون مـن الخشـب واللحاء . ويكون الخشب عميق التفصص بلا انتظام كما يكون موضع اللحاء بين فصوص الخشب .

دورة الحياة : *The life cycle*

تتشـابه دورة حيـاة الحزازيـات الصولجـانية بشكـل عام تشابها كبيرا مع تلك العائـدة للسراخس ، كما أن الحـزازيات الصـولجـانيـة هى من النـوع متجـانس السبـورات . تنشـأ السبورات العديـدة فى حوافظ سبـوريـة كبـيرة تتخـذ شكـل الكلية ، وتولد منفردة فى الاباط Axils من الطور السبورى . فى احدى المجاميع البدائيـة من الأنواع نجـد أن نباتـات طورهـا السبـورى تتشابـه مـع الأوراق الخضريـة من حيث حجمهـا وشكلها ووضعها ومقدرتها على القيام بـالبناء الضـوئى (شكل 24 ـ 14أ) . تتبعثـر الحوافظ السبـورية عـلى طـول المجمـوع الخضرى المورق ، رغمـا عن أنهـا تميـل الى تكـوين منـاطق خصيبة تتبادل مع المناطق الخضرية .

وفى مجموعة أخرى أكثر تطـورا للحزازيـات الصولجـانية تتجمـع نباتـات الطور السبـورى فى تراكيب شبـه مخـروطيـة تسمى بالمخاريط Strobili ، وتكون جالسة على أطراف الفروع





شكل (26ـ4) الاوراق السبورية والحوافظ السبورية للحزازيات الصولجانية (أ) الحزاز الصولجانى الساطع ، لا وجود للمخاريط ، (ب) الحزاز الصولجانى الشائع ؛ تتجمع الاوراق السبورية مكونة مخاريط .

المورقة ، أو تكون مرتفعة على أعناق طويلـة . علما بـأن نباتـات الطور السبورى تكـون مختزلـة بشكل كبـير وتتخذ هيئـة شبه حـرشفيـة (راجـع شكـل 1 ـ 4، 26 ـ 4ب) ، كمـا تميـل الى اصفرار . لكل من المظهر المكثف لهذه المخاريط وصغر الأوراق والشكل العام للنباتات علاقة وطيدة بتسمية هذا النبات باسمه الشائع الحزاز الصولجانى .

تتكون السبورات من خـلايا الأم السبـورية بعـد الانقسام الاختزالى ، وتكون السبورات رباعية مزودة فى العـادة بخطوط شعاعية عـلى أحد جـوانبها (شكـل 26 ـ 14أ) . أما الجـدران فتكون مزودة بحـواف مثخنة تتخـذ أنماطـا متباينـة من حيث

الشكـل . تفلت السبورات النـاضجة من خـلال شق فى جـدار الحافظة السبورية ومن ثم تنثرها الرياح . عندما تتأثر حـزمة من الحزازيات الصولجانية تكون سبوراتها قـد نضجت بمؤثر خـارجى كأن يمـر بينها إنسـان ، سرعان مـاترتفـع سحـابـة مصفرة تتألف من الملايين من السبورات .

الثالوس الاولى *The prothallus*

تنبت سبورات الحزازيات الصولجانية فوق سطح التربة أو تحته وسرعان مـاينشأ منهـا ثالـوسات أوليـة ناضجـة تحمل أعضاء جنسية ـ ارشيجونات وانثـريدات Archegonia and Antheridia ـ تتفـاوت الثالـوسات الأوليـة من حيث الحجم والشكل تفاوتا ملحوظا باختلاف النوع . غـير أنها تكـون كلها صغيرة نسبيا وانبوبية فى شكلها ، ويمكن تقسيمها الى عدد من الفئات . ففى أحد الأنماط الذى يعيش فى المناطق الاستوائيـة وبعض أنواع تعيش فى المناطق المعتدلة ، يكون الثالوس الأولى عبـارة عن تركيب اسطـوانى قصير وممتـلىء بيضوى الشكـل منتصب ، كما يكون مفصصا عند قمته فى بعض الأنواع . أما القسم القاعدة فيكون أبيض اللون به اصفرار ويوجد مدفونـا فى التـربة ويحمـل أشباه الجـذور كما أن الجـزء العلـوى من النبات يكون أخضر اللون وبذا يكون قادرا عـلى القيام بـالبناء الضـوئى . تعتبر الثـالوسـات الأولية صغـيرة (2 ـ 3 ملليمتر قطـرا) ، ولاتعمر كثـيرا ، إذ لاتبقى أكثر من بضعـة أشهـر ، وسرعان ماتهاجم خيوط فطرية تعيش بين خلايا النبات فى جزئه القـاعـدى . ويظهـر أن وجـود هـذه الخـيوط الفطرية ضرورى لمتابعة نمو الثالوس الاولى. ويوجد أيضا نمط آخر للثالوس الأولى أكثر تقدما من حيث التطور فى أغلب انواع الحزازيات الصولجانية التى تقطن المناطق المعتدلة. ويكون هذا الثالوس الاولى خاليا من الكلوروفيل، فهو ينمو تحت الارض بالكامل مدفونا على أعماق تتراوح بين 25 ـ 100 مليمتر (شكل 26ـ5). وكما يحدث فى النمط الهوائى، نجد أن الخيوط الفطرية تصاحب هذه التراكيب الأرضية ولكن بوفرة أكبر، وتتواجد أساسا فى منطقة قريبة من السطح الخارجى للثالوس الأولى. وتتيح هذه الخيوط الغذاء للثالوس الأولى حيث تستمد مواده من المادة العضوية المحيطة. وفى العادة يوصف الثالوس الأولى بالترمم saprophytic، ولكن كما أشرنا فى الفصل الخامس إن المترمم هو الفطر وليس الثالوس، أى النبات الراقى. ان العلاقة التى تربط بين الفطر والثالوس يمكن أن تكون من النوع التكافلى ولكن إذا كان الامر كذلك فان الفائدة التى يجنيها الفطر فى هذه العلاقة تعتبر مجهولة.

تتفاوت الثالوسات الأولية الترابية تفاوتا ملموسا شكلا وحجما، الا أنها تكون بشكل عام (من 1ـ2 سم فى الطول والعرض)، أكبر من الانماط الهوائية. وحسب النوع تكون اسطوانية او جزرية الشكل أو قرصية أو مفصصة وملفوفة. وفى النمطين الاخضر وغير الاخضر تتولد الاعضاء الجنسية



شكل (26ـ5)
ثالوسات اولية ترابية للحزازيات الصولجانية مرتبطة بـ Sporelings (اليسار) ثالوسات اولية للحزاز الصولجانى (Lycopodium Complanatum ,Var -Flabelliforme) (اليمين) ثالوسات اولية لحزاز صولجانى هو (Licopodium obscurum)

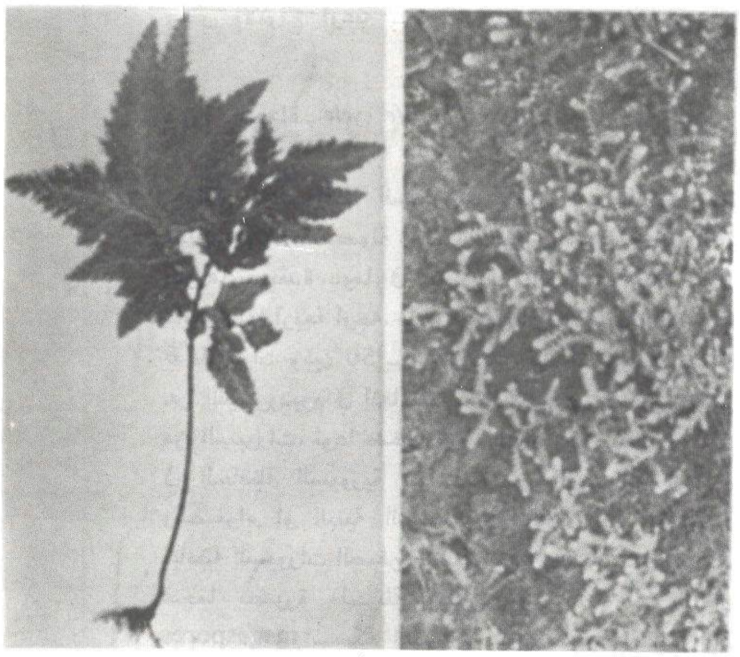
على السطح العلوى من الثالوس الاولى، وتكون مغمورة فى الانسجة، تصل السبرمات ثنائية الاسواط الى الارشيجونات سابحة فى طبقة رقيقة من ماء حر يعلو سطح الثالوس الأولى. وعقب الاخصاب ينتج الزيجوت (2n)، جنينا ينمو مكونا نباتا مورقا. وربما يجرى إخصاب اكثر من بيضة ومن ثم يمكن لعدة أطوار سبورية أن تتكون من ثالوس أولى واحد. ربما يعيش نمط الثالوس الأولى الترابى لعدة سنوات عقب الإخصاب، ومن ثم يواصل إمداد الطور السبورى الفتى باحتياجاته الغذائية حتى بعد أن يصبح الاخير نباتا أخضر ناميا الى أعلى لمسافة مافوق سطح التربة. ويصعب العثور على مثل هذه الثالوسات الأولية المدفونة فى التربة فى الطبيعة، ولذا يكتشف أمرها فى العادة عند العثور على الطور السبورى الفتى وبتعقب الساق الى الاسفل وصولا الى الثالوس الأولى المتصل بها.

لقد اكتشف منذ زمن بعيد أن سبورات الانواع القاطنة فى المنطقة المعتدلة، والتى لها ثالوسات أولية مدفونة لاتنبت مكونة ثالوسات أولية ناضجة الا بعد مضى مدة طويلة من الزمن. وقد أعلن باحث ألمانى فى عام 1885 أن سبورات أحد الانواع قد تحتاج من 3 ـ 5 سنوات لكى تنبت اذا وضعت فى التربة ومن 6ـ 8 سنوات لكى ينمو ثالوسها الاولى وصولا الى تكوين الاعضاء الجنسية. كما يحتاج نوعان آخران من 6 ـ 7 سنوات للانبات ومن 12ـ15 سنة لبلوغ ثالوسها الأولى. تفسر حالة دفن الثالوس الاولى فى التربة سبب تأخر الإنبات حيث تحمل السبورات أثناء هذه الفترة الى أسفل من جانب تسرب الماء فى التربة. وعلى الرغم من القيام بالعديد من المحاولات لانبات سبورات نوعين من النمط الأرضى وانتاج ثالوسات أولية تحمل أعضاء جنسية وذلك فى مزرعة غذائية تحوى الأملاح المعدنية والسكروز، الا أن هذه المحاولات لم تصادف النجاح قبل عام 1957. ولقد تم ذلك بمعالجة السبورات بحامض الكبريتيك المركز أو بغيره من العوامل المساعدة على مهاجمة جدار السبور بما يتيح نفاذ الماء اليه. ولم تكن الثالوسات الأولية التى أنبتت بهذه الطريقة عديمة اللون ولحمية أنبوبية كما توجد فى الطبيعة، لكنها كانت خضراء شديدة التفرع تحمل أعضاء جنسية على فروعها. وحتى باستزراعها بهذه الطريقة تطلب الامر مضى 6 اسابيع حتى الإنبات كما لم تظهر اعضاؤها الجنسية قبل مضى أربعة او خمسة شهور بعد الإنبات.

السيلاجينيلا: Selaginella

تتفاوت الحزازيات الصولجانية الصغيرة (السيلاجينيلا) فى شكلها (شكل 26ـ6)، فبعضها مفلطح وزاحف، بينما تشكل انواع أخرى حصائر، وأنواع ثالثة تنمو قائمة. يصبح هذا الجنس اكثر بروزا بنوع خاص فى المناطق الاستوائية الرطبة منه فى المناطق المعتدلة. تكون بعض الأنواع الاستوائية حرة التفرع، وربما وصلت الأشكال القائمة الى ارتفاع ثلاثين سنتيمترا أو يزيد، إن رقة وجمال أوراق بعض الانواع الاستوائية قد تسبب فى تكثيف زراعتها فى مناطق حماية الطبيعة والحدائق النباتية وفى اهتمام اختصاصى

شكل (26ـ6) السيلاجينيلا Selaginella
(اليسار) (Selaginella hamaetodes) موطنه وسط امريكا .
(اليمين) (Selaginella apoda) وموطنه شمال امريكا .



النبات بها. و هناك نوع منها هو السيلاجينيلا ليبدوفيلا Selaginella lepidophylla، استوطن تكساس والمكسيك، ينشىء تكوينا نجميا أخضر كثيفا أثناء فصل النمو. وعندما يجف الفصل تتجعد السيقان الى الداخل الى أن يكتسب النبات شكل الكرة الكثيفة. تنفصل الكرات عند قواعدها وتتدحرج بعيدا بفعل الرياح. عند هطول الامطار تمتص النباتات الرطوبة وتنفرد سيقانها. بل وربما تستأنف نموها. ولهذا السبب يسمى هذا النوع من السيلاجينيلا بنبات النشور resurrection plant او حزاز عش الطير – bird's nest moss.

تكون انواع السيلاجينيلا القاطنة فى المناطق المعتدلة فى غالبيتها صغيرة الحجم وشبيهة بالحزاز، وتقطن مدى واسعا من المواطن من الشطآن الظليلة الرطبة الى المنحدرات الصخرية الجافة. كما تكون أوراقها صغيرة متراكبة overlapping، وحلزونية الترتيب أو مصطفة فى صفوف رأسية تحيط بالسيقان النحيفة. يمكن ان تتخذ الانسجة الوعائية شكل الاسطوانة الخالية من اللب او أن تنتظم فى مجاميع من الحزم الوعائية غير منتظمة التوزيع. وتتألف هذه الحزم من أثنتين او ثلاث أو خمس أو اكثر، ويحوى خشب بعض الانواع أوعية حقيقية.

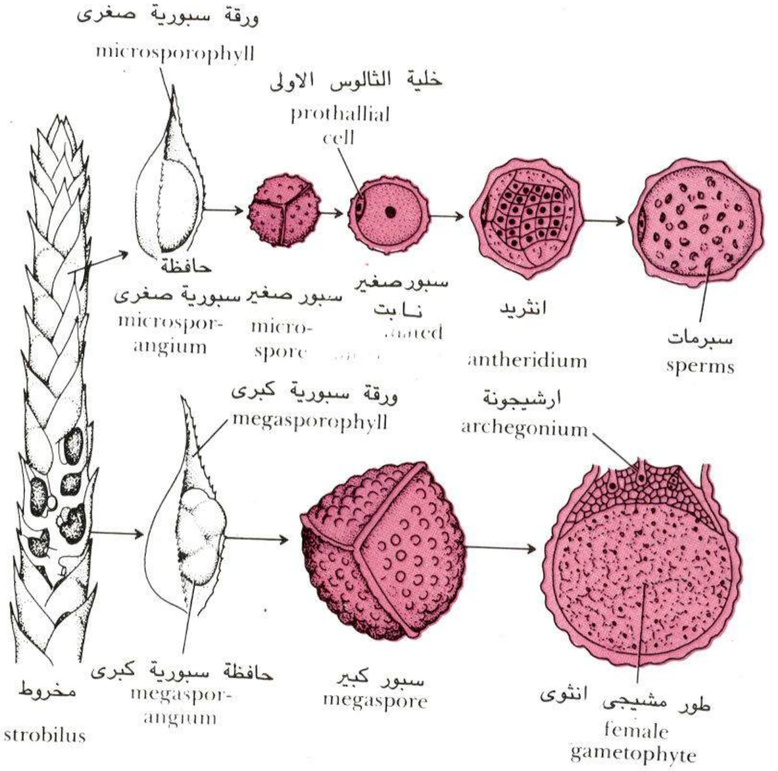
دورة الحياة *The life cycle*

تكون الحوافظ السبورية كما فى الليكوبوديوم Lycopodium محمولة فى آباط الاطوار السبورية التى تكون بدورها معنقدة دوما فى مخاريط جالسة Sessile وغالبا مايكون لها أربعة أوجه. يتراوح طول المخاريط تبعا للنوع بين 6 مليمترات وبين 50 ـ 75 مليمتر. والسيلاجينيلا تختلف عن الليكوبوديوم فى أنها متباينة السبورات، إذ تكون نوعين من السبورات، نوعا صغيرا ووفير العدد (بما يصل الى 600 فى الحافظة السبورية الواحدة) من السبورات الحمراء والصفراء او البنية الصغيرة microspores، يتكون فى حافظة السبورات الصغيرة microsporangium، ونوعا اكبر حجما بصورة ملحوظة ويكون من السبورات الكبيرة megaspores سميكة الجدران يكون عددها الشائع (4) وتنشأ فى حافظة السبورات الكبيرة megasporangium (شكل: 26ـ7). وتكون الحافظة السبورية الكبيرة فى العادة أكبر كثيرا من الحافظة السبورية الصغيرة. وتتفتح موضعيا او تتفصص مع نمو السبورات بداخلها. تتكون السبورات الاربعة الكبيرة من خلية ام سبورية واحدة علما بأن عددا من خلايا الام السبورية تكون موجودة فى الاصل، غير انها تتحلل كلها فيما عدا واحدة فقط قبل وقوع الانقسام الاختزالى، وتساهم الخلايا المتحللة فى تغذية السبورات الكبيرة.

يطلق على الاطوار السبورية مصطلحا الاوراق السبورية الصغرى microsporophylls والكبرى megasporophylls تبعا لنوع الحافظة السبورية التى يحملها الطور فى آباطه. وفيما عدا ذلك فان هذه الاطوار تكون خضراء متشابهة وأصغر لحد ما من أوراقها الخضرية، ويوجد كلا نوعى الاطوار السبورية وكذلك حوافظها السبورية عادة على نفس المخروط. ربما توجد حوافظ السبورات الكبرى عند القاعدة اما الحوافظ السبورية الصغرى فربما توجد فى القسم العلوى، أو ربما يتداخل كلا النوعين فى ترتيبهما.

الثالوسات الأولية الذكرية والأنثوية: *Male and female prothalli*

تتفتح الحوافظ السبورية وتلفظ سبوراتها ببعض القوة وذلك بالاستعانة بآلية يقوم فعلها على خلايا سميكة الجدران، بطريقة تشابه كثيرا تلك الطريقة الموجودة فى التركيب الحلقى للحافظة السبورية السرخسية. ينتج السبور الصغير ثالوسا ذكريا. بينما ينشأ ثالوس أنثوى عن السبور الكبير. يحدث الإنبات فى الحزازيات الصولجانية متجانسة السبورات وكذلك السراخس بتكوين ثالوس أولى خارج جدار السبور. بينما تنشأ الثالوسات الأولية للسيلاجينيلا جلها أو كلها، داخل جدار السبور (شكل 26ـ7)، وربما يبدأ الإنبات قبل أن تنفصل السبورات عن النبات الام. يتكون الثالوس الأولى الذكرى بالكامل داخل جدار السبور الصغير. وتتألف المرحلة الاولى للانبات من تكوين خليتين. وتكون احدى هاتين الخليتين كبيرة الحجم وتحتل معظم الحيز داخل السبور اما الخلية الاخرى، أى خلية الثالوس الأولى prothallial cell، فتكون صغيرة وعدسية الشكل Lens – shaped، وتقع



شكل (26_7) السيلاجينيلا : الاوراق السبورية والحوافظ السبورية ، والسبورات والثالوسات الاولية الذكرية وانثوية

بالقرب من جدار السبور. ويعتقد أن خلية الثالوس الاولى تكون لاوظيفية أو (اثرية) vestigial، أما بقايا النسيج الخضرى للثالوس الاولى فقد كانت فى وقت ما متعددة الخلايا multicellular. ويتكرر انقسام الخلية الاكبر لعدة مرات. وتكون بعض الخلايا الناتجة عن تكرار الانقسام غلافا للخلايا Jacket of cells هو الانثريد antheridium. تقوم مجموعة اخرى من الخلايا بتكوين تجمع من خلايا متمركزة الوضع centrally placed cells، تنشأ منها فى أعقاب توالى الانقسام الكثير من السبرمات ثنائية الاسواط biflagellate sperms. ويعـقب هـذا تحـلل كـل مـن الخلية الثالـوسية الأولية والغلاف الانثريدى antheridial jacket مخلفة وراءها الطور المشيجى الذكرى الناضج ، الذى أصبح مؤلفا الآن من عدد كبير من السبـرمات التى يغلفهـا جدار السبور الصغير . وتبعا للنوع تلفظ السبورات الصغيـرة من حافظاتها السبورية فى مراحل مختلفة تسبق نشوء السبرم ومن ثم يتوالى تكوين الطور المشيجى على التربـة . عنـدمـا تنضـج السبرمـات يتفتح الجـدار السبـورى ومن ثم تتحـرر السبرمات .

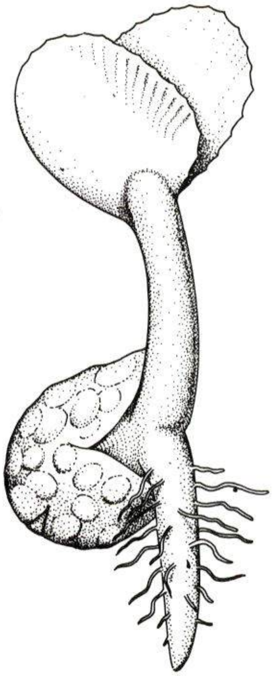
ينبت السبـور الكبير مكونا طورا مشيجيا انثـويا متعـدد الخلايا ، أو ثالوسا أوليا يتابع نموه حتى يملأ الحيـز الموجـود داخـل الجدار السبـورى (شكـل 26 ـ 7) . يحـوى القسم الأسفل من الثالـوس الأولى كمية كبـيرة من الغذاء المتجمـع ، الذى ينتفع بـه فيما بعـد الطور السبورى الفتى لنموه . وفى مـرحلة معينـة (وتختلف أيضا بـاختلاف النـوع) ، ينفصل السبـور الكبير النـابت ويستمـر تطـور الثـالـوس الأولى عـلى التربة . واخيرا يسبب استمرار نمـو الثالـوس الأولى الأنثوى تهتـك الجـدار السبـورى ومن ثم تظهـر وسـادة نسيجيـة cushion of tissue ، تحمل عددا من الارشيجونات المدفونة بـهـا . وتتكـون فى بعض الأنـواع أشبـاه جـذور متخللـة الارشيجونات وتمتـد داخل التـربة . وإذا مـا تجاوز كـل من السبورين الكبير والصغير فإن السبرمات تسبح إلى البيضة فى غشـاء من الماء ، ومن ثم يحـدث الاخصاب وينشـأ عنه طـور سبـورى فتى . ويبقى النبات الفتى مـرتبط بالطـور المشيجى الأنثوى لفترة ما ، بينما لا يزال الأخير مـوجودا ضمن جـدار السبـور (شكل 26 ـ 8) . وحتى بعـد أن يتعرض الثـالوس

الأولى الأنثوى للضوء يصبح تكوينه للكلوروفيل بعيد الاحتمال فى الطبيعة . ويقينا لم تكون الاطوار المشيجية الأنثوية لنوعى السيلاجينيلا التى نميت فى مزارع بيئية كلوروفيلا ، حتى بعد مضى عدة شهور من تعرضها للضوء . يوضح الشكل (26 ـ 9) دورة الحياة الكاملة للسيلاجينيلا .

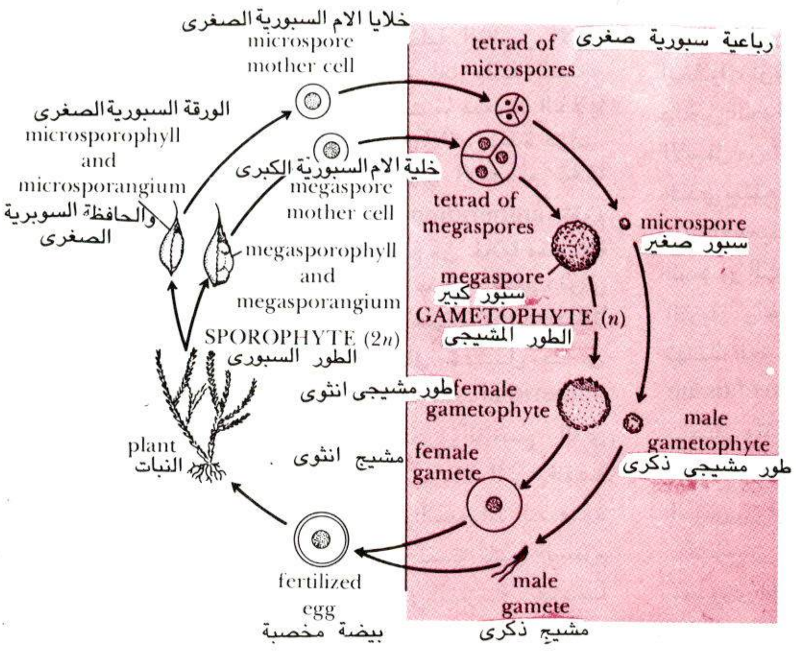
يمكن العثور على تباين لسبورات الموجود فى السيلاجينيلا بما يحويه من سبورات كبيرة حرة وسبورات صغيرة فى عدد قليل نسبيا من المجاميع الاخرى للنباتات الوعائية الحية وتكون فى الأساس من سراخس الماء water ferns وكذلك الايسوايتس Quillworts (Isoetes) (فصل ـ 18) . ومع ذلك فلقد وجد هذا التباين فى عدد من مجاميع النباتات المنقرضة . علما بأن السيلاجينيلا والايسواتيس isoetes لا تربطهما صلة بسراخس الماء ، ولذا يكون التباين السبورى قد نشأ فى المجموعة الأخيرة مستقلا على الأرجح .

الحزازيات الصولجانية الحفرية : Fossil Club Mosses

من بين أبرز النباتات الأكثر غرابة والتى عاشت فى العصر الكربونى نجد الحزازيات الصولجانية العملاقة . والمعروف



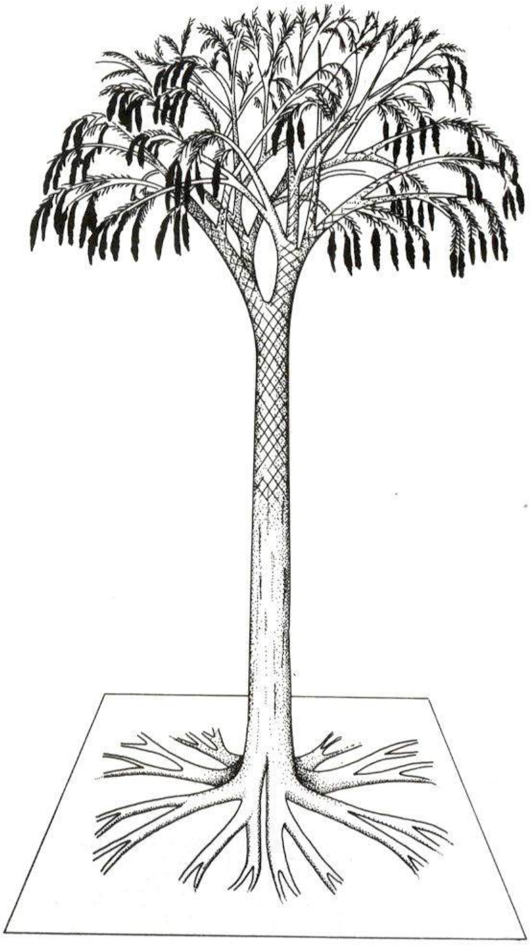
شكل (26ـ8) طور سبورى فتى لحزاز (Selaginella apoda)، لايزال متصلا بثالوس الاولى الانثوى . اما الثالوس الاولى فلا يزال بدوره مغلقا فى جدار السبور الكبير .



شكل (26ـ9) دورة حياة السيلاجينيلا ، يظهر الجيل احادى المجموعة الكروموسومية ملونا .



شكل (26ـ11) سطح قلف اللبيدوديندرون Lepidodendron ، يوضح ندب الورقة ووساداتها المضلعة الشكل .

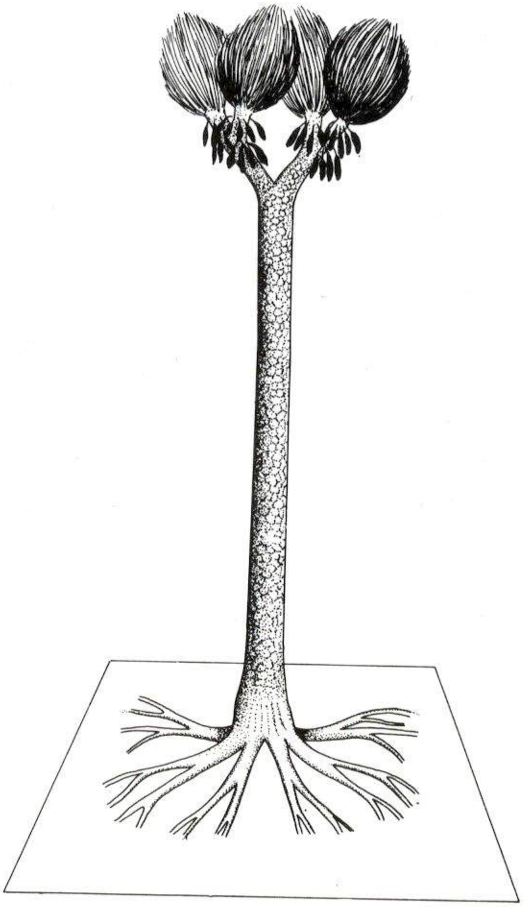


شكل (26ـ10) حزاز الليبيدوديندرون Lepidodendron

منـهـا جنسـان اللبيـدوديـنـدرون Lepidodendron والسيجيلاريا Sigillaria . وكان الجنس الأول أشجارا كبـيرة يصل طولها إلى ما يـزيد عن 30 متـرا وقطرهـا حوالى المتـر . وذلك عند قـاعدة الشجـرة (شكل 26 ـ 10) . كـان الجذع متفرعا بشعب ثنائية ، كما وجدت مخاريط كبيرة ، ربمـا وصل طول الواحد منها فى بعض الأنواع إلى 30 سم أو يزيـد ، وذلك عند أطراف الفروع . هذه النباتات كانت متباينـة السبورات ، وكـان المخروط الـواحد ينتـج نوعى السُبـورات . أما الأوراق فكانت من النوع المتساقط deciduous ، وكانت قليلة العرض ويتـراوح طولها بين بضعـة سنتيمترات و 60 سم . احتـوت الجذوع على بعض من الخشب الثانوى ، غير أن جزءها الأكبر قد تألف من طبقـة سميكة من فلـين شبه بـرنشيمى . نشأ عن تراكم طبقات متتالية من كمبيوم الفلين cork cambium . كما كان قلف الجذع الرئيسى والفروع مغطى بوسائـد ورقية Leaf cushion تتخذ ترتيبا حلزونيا وشكلا مضلعا . كانت الـوسادة الـواحدة تتـألف من تضخم الجـزء القـاعـدى للـورقـة التى تعـرضت للانفصـال abscission فى مستوى أعـلى قليـلا من القاعدة تـاركة نـدبة scar فى وسط أو أعـلى الوسـادة الورقيـة (شكل 26 ـ 11) . ومع تقدم الشجرة فى العمـر تسبب زيادة سمـك طبقات الفلـين انسلاخ slough وسـائـد الأوراق عنـد قاعدة الجذع ، وبذلك أصبحت هذه القـاعدة خشنـة محززة . وتعتبر بصمات القلف التى تظهر وسائد الأوراق من بين أكثـر الحفريات شيوعا فى طبقات العصر الكربونى واوضحها تميزا .

أما السيجيلاريا فكانت أيضا من الأشجار الكبـيرة (شكل 26 ـ 11) إلا أنها اختلفت عن الجنس الأول من عدة أوجـه . فجذوعها كانت قليلة التفـرع ، أما قمتهـا فتكونت من عنقـود

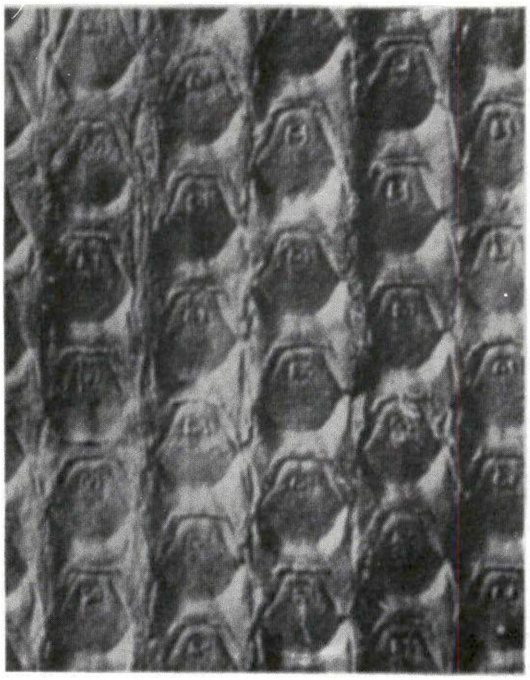
والعلاقات التى تربط بين الحزازيات الصولجانية الحية وبين الليبيدوديندرون والسيجيلاريا لاتزال غامضة . ويعتبر دارسو تلك النباتات عادة أن الجنسين الأخيرين يمثلان خطاً تطوريا ، انفصل عن ذلك الذى خلف الحزازيات الصولجانية الحية الليكوبوديوم Lycopodium والسيلاجينيلا Selaginella . ترعرعت الحزازيات الصولجانية العملاقة فى العصر الكربونى ومن ثم انزوت ثم انقرضت أخيرا من غير أن تخلف وراءها أخلافا descendants . ومن المرجع أن تكون الأشكال الحية قد انحدرت عن نباتات قديمة زحفت على سطح الارض low – trailing plants ، عرفت من بصماتها الموجودة فى الصخور الرسوبية . فأحد هذه الأجناس وهو الليكوبوديتس ، Lycopodites قد وجد فى صخور العصرين الديفونى الأعلى والكربونى ، يمثل الأنواع الحية من الليكوبوديوم التى لا تكون أوراقها السبورية متجمعة فى مخاريط . كما وجد نبات السيلاجينيليتس Selaginellites متباين السبورات ، وهو من الحزازيات الصولجانية الصغيرة ، وذلك فى صخور العصور من الكربونى الأعلى إلى



شكل (26ـ12) السيجيلاريا Sigillaria

كبير من الأوراق قليلة العرض ومستطيلة ، ربما بلغ طول الواحدة منها 90 سم . كما ان جذع السيجيلاريا كان يحمل وسائد أوراق أيضا ، غير أنها كانت قليلة البروز وكان أثر الورقة يغطى معظم سطح الوسادة (شكل 26 ـ 13) . وكان ترتيب الوسائد حلزونيا فى السيجيلاريا مثلما كان فى النوع الأول ، ولكن بسبب وجود ضلوع طويلة أو حواف طولية تتخذ مظهر الصفوف الرأسية ، وهى سمة تتميز بها بصمات القلف عن حفريات الليبيدودينـدرون lepidodendron . وكانت نباتات السيجيلاريا متباينة السبورات أيضا ، بينما كانت مخاريطها محمولة فى العادة فى حلقات على المحور الرئيسى أسفل قمة الجذع مباشرة

شكل (26ـ13) ندوب اوراق السيجيلاريا Sigillaria



جسم النبات : The Plant Body

يتألف النبات من ريزومات أرضية معمرة perennial underground rhizomes تنشأ منها فروع هوائية . تكون السيقان الهوائية لبعض أنواع دائمة الخضرة evergreen ، بينما تكون حولية فى أخرى ، إذ تظهر مع بواكير فصل النمو . تكون هذه السيقان (شكل 26 ـ 15) اسطوانية ظاهرة العقل ومعلمة بحواف طولية . وربما تكون متفرعة أو غير متفرعة . أما أوراقها شبه الحرشفية التى اندمجت حوافها مكونة غمد اسطوانى ، فتخرج من حلقات عند العقد nodes . ولقد كان تماثلها الشجيرى سببا فى اطلاق الاسم الشائع عليها . يتم البناء الضوئى فى الأساس عن طريق السيقان والفروع ، فأوراقها ضئيلة المساحة وتكون فى العديد من الأنواع خالية من الكلوروفيل . تنشأ مخاريطها عند طرف الساق الرئيسية أو على أطراف الفروع . وفى بعض الأنواع تنتج كل الفروع مخاريط (شكل 26 ـ 15 الى اليسار) ، بينما تكون بعض الأنواع الأخرى ومثالها (Equisetum arvense) ، مزدوجة الهيئة أو الشكل diomorphic ، إذ تحوى نوعين من السيقان الهوائية العقيمة والخصيبة (شكل 26 ـ 15 إلى اليمين) . وفى هذه الأنواع يفتقر المجموع الخضرى الخصيب للكلوروفيل ، وبذا يكون عمره قصيرا ، إذ يموت فى أعقاب انفصال السبورات ويستمر المجموع الخضرى العقيم فى نموه بنشاط متخذا شكلا دغليا يستمر فى الوجود حتى الخريف .

ومن الداخل تكون ساق نبات ذيل الحصان مفرغة فى العادة (شكل 26 ـ 16) ، فيما عدا مناطق العقد . تحوى القشرة العريضة ممرات هوائية تمتد من عقدة إلى أخرى تالية . والساق خالية من الكمبيوم . تكون الأنسجة الوعائية مختزلة إلى حلقة من الحزم الوعائية الصغيرة ، تتألف كل واحدة منها من مجموعة من خلايا اللحاء وكتلتين صغيرتين من الخشب تتخذان مكانهما على جانبى اللحاء لقد لوحظ وجود أوعية حقيقية فى خشب ريزومات خمسة أنواع من جنس ذيل الحصان .

إن الألياف السكلرنشيمية الموجودة فى القشرة الخارجية تكون مسئولة فى الاساس عن الدعم الميكانيكى للساق . فهذه الألياف وكذلك خلايا البشرة تكون غنية بالسيليكا ، ولقد

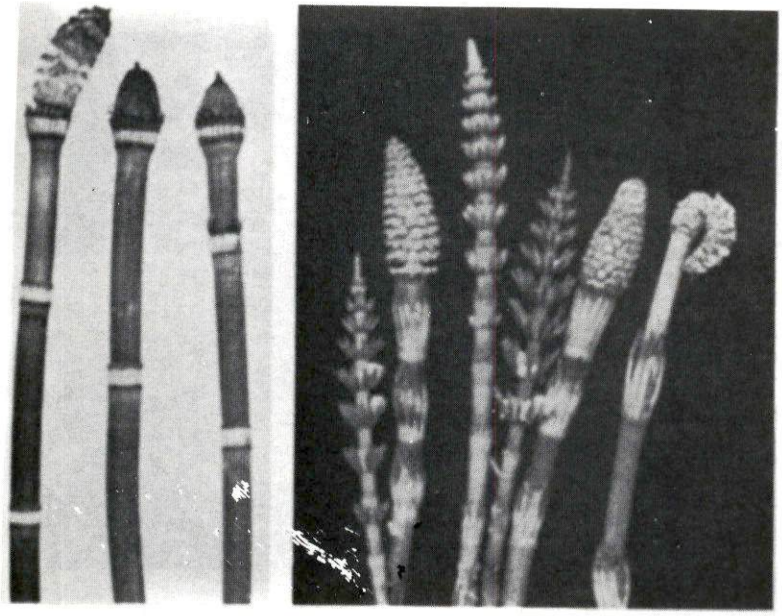


شكل (26ـ14) نبات ذيل الحصان العملاق (Equisetum giganteum) موطنه وسط امريكا . القبعة فى ركن الصورة لتوضيح حجمه النسبى .

الترياسى . ومن هنا يتبين لنا أن الجنسين المعاصرين الليكوبوديوم والسيلاجنيلا قد نشأ فى الماضى البعيد منذ أكثر من 375 مليون سنة .

السفينوبسيدا : The Sphenopsida

تصنف السفينوبسيدا الحية كلها فى جنس واحد اسمه الشائع ذيل الحصان Equisetum . وهناك عدة أنواع شائعة منه تقطن غالبية مناطق الأرض . فمعظم نباتات ذيل الحصان تنمو فى مناطق البرك والمجارى المائية غير المحددة مثل الغدران الضحلة والمستنقعات وشطآن الينابيع . غير أن بعضها يترعرع فى تربة جافة نسبيا مثل أراضى المراعى وجوانب الطرقات وحتى بالقرب من خطوط السكك الحديدية . وتتفاوت نباتات ذيل الحصان طولا ، فمن أقل من 30 سم إلى حوالى المتر ، بيد أن بعض الأنواع يكون أطول . ويوجد شكل يعيش فى المناطق الاستوائية (شكل 26 ـ 14) ، ربما يصل طوله إلى ما يزيد عن التسعة أمتار إذا ما توفرت له الظروف الملائمة .



شكل (26ـ15) ذيل الحصان E Equisetum

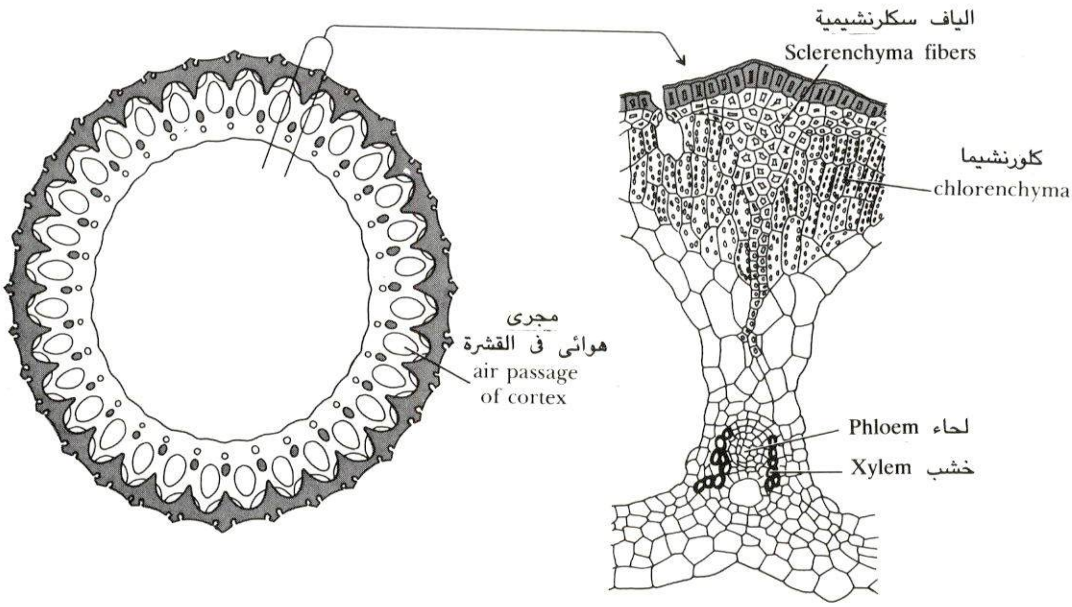
(اليسار): ذيل الحصان ـ جالى الاوانى Common scouring rush (Equisetum hyemale , var . affine)

(اليمين) مخاريط ذيل الحصان الشائع Common horsetail (Eguisetum arvense)

يحوى هذا النوع مجاميع خضرية هوائية من الصنفين الخصيب والعقيم .

شكل (26ـ16) (اليسار): قطاع عرضى فى ساق نبات ذيل الحصان .

(اليمين): جزء من القطاع عالى التكبير

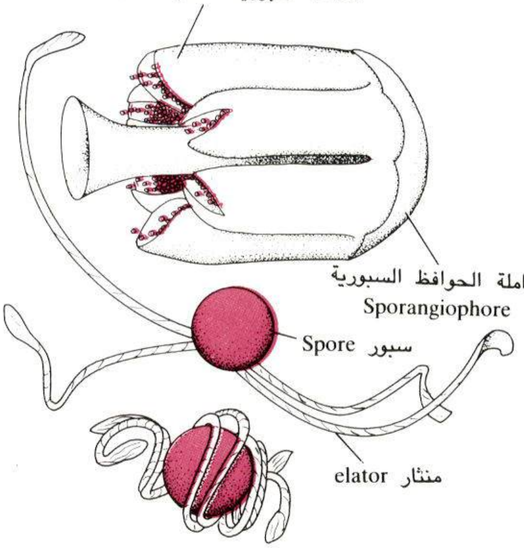


لوحظ هذا فى أحد الانواع بحيث جرى استغلاله فى الماضى فى جلى الأوانى ، ومن هنا اكتسب اسمه الشائع «جالى الأوانى "" Scouring Rash " (شكل 26 ـ 15) .

دورة الحياة : *The life cycle*

تتشابه دورة حياة نباتات ذيل الحصان الحية مع تلك العائدة للحزازيات الصولجانية والسراخس . وتتألف مخاريطها من محور سميك قصير يحمل عناقيد من حوامل الحوافظ السبورية الحلقية Whorled Sporangiophore ، تحمل الحوافظ السبورية بدورها (شكل 26 ـ 17) . تكون الحوافظ السبورية تراكيب شبه حرشفية مستطيلة ، مرتبطة بالجانب الداخلى بحواملها المعنقة شبه الغمدية . تحوى كل واحدة من الحوافظ عددا كبيرا من السبورات التى تنشأ بعد الانقسام الاختزالى الجارى فى خلايا الام السبورية . عندما تنضج السبورات تتفتح حوافظها على طول شق فى الجانب الداخلى ، ومن ثم يستطيل محور المخروط فاصلا بذلك حوامل الحوافظ السبورية (شكل 26 ـ 15) ، تاركا مسافات بينية ربما تتولد فيها السبورات قبل ان تحملها تيارات الهواء كى تقع على الارض . بعد انتشار السبورات ينكمش المخروط ، بينما توالى الساق التى نشأ فوقها نموها بصورة مجموع خضرى .

تحوى سبورات نباتات ذيل الحصان العديد من البلاستيدات الخضراء ، كما تتألف جدران السبورات الناضجة من أربع طبقات تترسب الطبقة الخارجية بصورة أربع شرائح منظمة حلزونيا تنشق فيما بعد بصورة أربعة نتؤات مستطيلة تكون أطرافها مفلطحة وتشترك فى نقطة اتصالها . وما هذه النشؤات السبورية الا مناثير elaters (شكل 26 ـ 17) ، ماصة للرطوبة وبذا تلتف حول نفسها ومن ثم تنفرد بسرعة مع رطوبة الهواء وعلى الارجع تساهم الحركات الناتجة داخل الكتلة السبورية فى لفظ الحافظة السبورية لسبوراتها . أضف الى ذلك ترجيح أن يكون للمناثير دور فى نشر السبورات . فحيث إنها تتمدد عندما تجف فانها تقوم بوظيفة الاجنحة ، التى تساعد على انتشار السبورات بالنسيم الخفيف . ويفترض أيضا أن السبورات

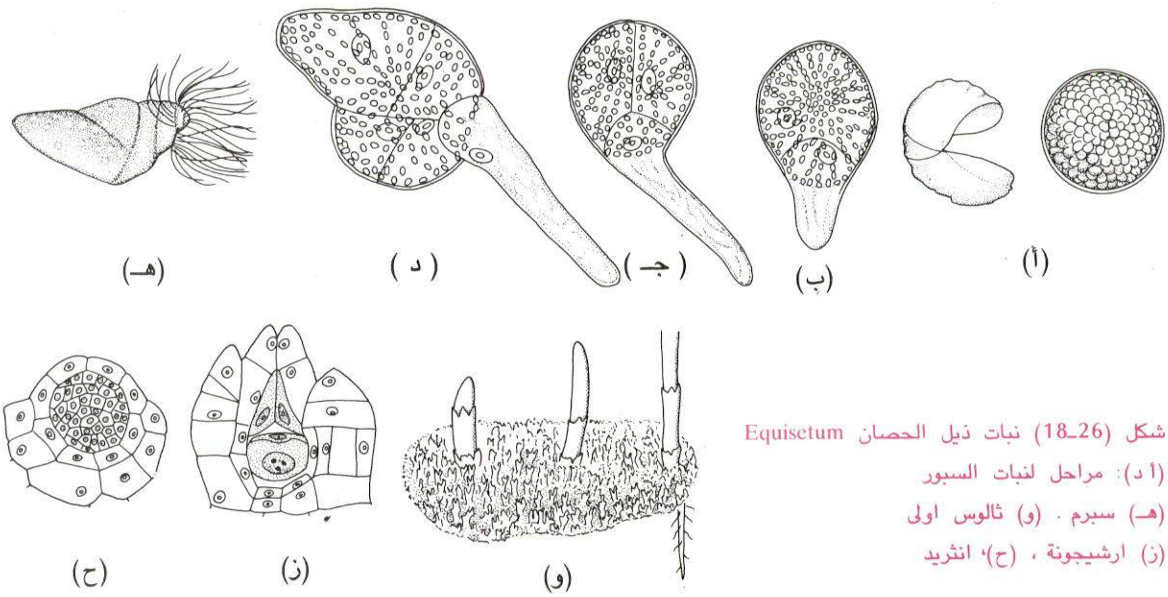


شكل (26ـ17) نبات ذيل الحصان Equisetum ، حاملة الحوافظ السبورية والحوافظ السبورية والسبورات . الرسم يوضح مناثير السبورات فى وضعها المفرود . (الى اعلى) ووضعها الملفوف (الى الاسفل).

عندما تنتقل فوق منطقة رطبة تزيد فيها رطوبة الهواء ، تلتف المناثير حول نفسها مما يقلل من مقدرة السبورات على الطيران ، الامر الذى يؤدى الى هبوطها فوق التربة الرطبة حيث تتوفر الظروف الملائمة للانبات .

الثالوس الاولى : *The prothallus*

تنبت سبورات نباتات ذيل الحصان الحية فوق التربة (شكل 26 ـ 18 أ د) ، وتمتص الماء وتنتفخ ومن ثم تتخلص من مناثيرها والجدار السبورى الثانوى . يقسم الجدار السبور إلى خلية كبرى وخلية أصغر سرعان ما تستطيل الخلية الصغرى مكونة شبه جذر عديم اللون . وتستمر الخلية الأكبر فى الانقسام ومن ثم تنشىء ثالوسا أوليا



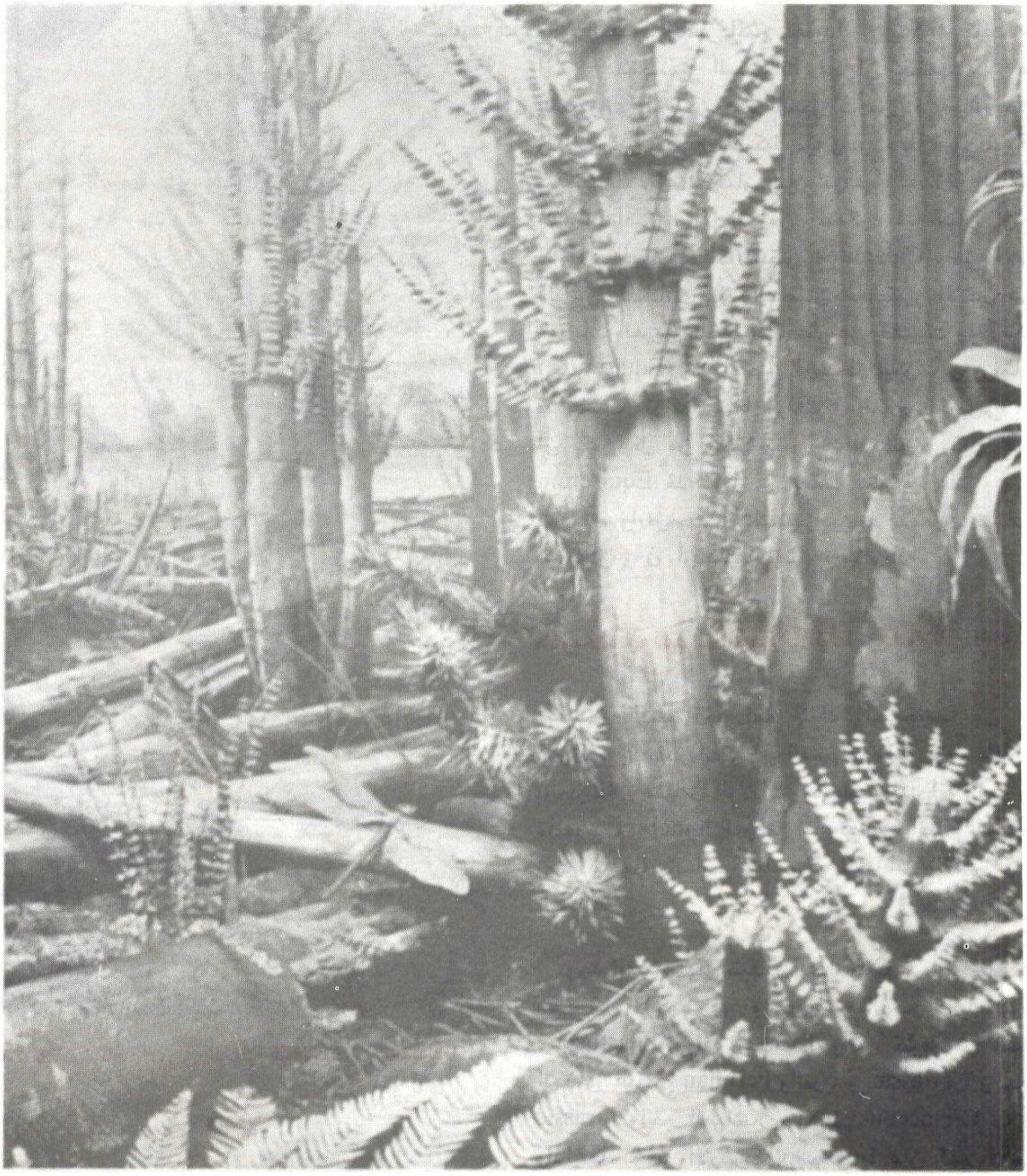
شكل (26ـ18) نبات ذيل الحصان Equisetum
(أ د): مراحل لنبات السبور
(هـ) سبرم . (و) ثالوس اولى
(ز) ارشيجونة ، (ح)، انثريد

أخضر (شكل 26 ـ 18 و) ، يبدأ فى العيش مستقلا لعدة أسابيع ويكون الثالوس الاولى صغيرا بما لا يتجاوز بضعة مليمترات فى القطر . ويتألف من وسادة قاعدية ينشأ منها العديد من الفصوص الخضراء القائمة تكون متصلة بالتربة عن طريق أشباه الجذور . يعتبر جنين ذيل الحصان المعاصر متجانس السبورات ، ويحمل نوعى الاعضاء الجنسية (شكل 26 ـ 18 ز ، ح) ، وذلك على السطح العلوى من وسادة نفس الثالوس الاولى ، ولربما تنشأ الانثريدات فوق الفصوص الخضراء . ومع ذلك فلقد لوحظ فى المزارع البيئية أن بعض الانواع تكون نوعين من الثالوسات الاولية : أحادى الجنس ، يحمل الانثريدات وحدها ، وثنائى الجنس ويحمل نوعى الاعضاء الجنسية معا . وتكون السبرمات (شكل 26 ـ 18 هـ) متحركة تنطلق سابحة الى الارشيجونة بوجودة الماء . وربما ينشأ عدد من الأطوار السبورية من ثالوس أولى واحد بشرط أن يتم إخصاب أكثر من بيضة فيه .

حفريات نباتات ذيل الحصان Fossil Horsetails

تسود نباتات ذيل الحصان العملاقة giant horsetails (Calmites) ، بين نباتات السفينوبسيدا المنقرضة . كما توضح متحجرات وقوالب وطبقات هذه النباتات أنها قد اكتسبت تطورها الاقصى فى العصر الكربوني الاعلى . ولقد تشابهت نباتات ذيل الحصان العملاقة كثيرا مع نباتات ذيل الحصان المعاصرة الا انها تختلف عنها فى كونها قد اكتسبت ابعاد الاشجار (شكل 26 ـ 19) . فبعضها قد وصل ارتفاعه الى 14 مترا أو يزيد كما عثر على الكثير من حفريات ساقها التى توضح عقدها وحوافها الطولية بما يشابه كثيرا نباتات ذيل الحصان الحية . ومع ذلك فإن هذه الحفريات لا تمثل سطح الجذع الذى كان ناعما نسبيا ولكنها تكون قوالب لفجوة اللب Pithcavity انظر شكل (25 ـ 2) . كما تمثل المجارى الموجودة فى القوالب حزم النبات الوعائية المتداخلة فى اللب . واكتسب حيز اللب فى بعض الانواع قطر زاد عن 30 سم .

كانت الاوراق نحيفة (شكل 26 ـ 20) تشبه الابر فى بعض الاحيان ، تزيد فى طولها عن طول أوراق ذيل الحصان المعاصرة ، وكانت الاعضاء الرئيسية للبناء الضوئى ، وترتبت هذه الاوراق فى حلقات وباعداد تتراوح بين الأربعة و 40 للحلقة الواحدة حسب النوع . لم تكن الاوراق ملتحمة أو كانت قليلة الالتحام بعكس الحالة الموجودة فى نباتات ذيل الحصان المعاصرة . كان الكثير من العقد فى الساق الرئيسية



كان البعض الآخر اكثر تعقيدا فى تركيبه كانت غالبية الانواع متجانسة السبورات، غير أن بعضها كان متباين السبورات ولم تكن هذه السبورات مزودة بمناثير elaters وبينما يكون من غير المشكوك فيه وجود صلة قربى قوية تربط بين نباتات ذيل الحصان وبين انواعها العملاقة الكالاميتس (Calamites) ، إلا أنه من المشكوك فيه كثيرا أن تكون الانواع العملاقة الكالاميتس Calamites ، هى الاسلاف المباشرة لنباتات ذيل الحصان، فالجنس الاخير هو من النباتات العريقة أيضا ، إذ عثر على حفريات ربما تكون له (Equisetites) من العصر الوسيط المبكر . بل وربما تكون قد عاشت متزامنة معها ، وذلك فى العصر الكربونى . يمكن ان يكون كل من الكالاميتس Calamites وذيل الحصان Equisetum قد نشأ عن سلف مشترك عاش فى الدهر القديم . وانقرضت الكالامتيس بينما استمرت نباتات ذيل الحصان ، فى ازدهارها حتى يومنا هذا .

حفريات الوقود ـ الفحم Fossil Fuel _ Coal

يعتبر الفحم أحد أهم المواد المستخلصة من القشرة الارضية إذ يقدر احتياطى الفحم بخمسة آلاف مليار طن ، يوجد 42٪ منها فى الولايات المتحدة . ولقد أتاح هذا الوقود «المعدنى» mineral الفرصة أمام تصنيع العالم الغربى ولذا تمتع باهمية أساسية بالنسبة لنشاطنا التقنى وانتاجنا الصناعى .

وجد الفحم فى كل طبقات الجيولوجية بدءا بطبقات العصر ما قبل الكمبرى وانتهاء بالعصر البلستوسينى Pleistocene . ولقد وجدت أحواض كثيفة من الفحم فى العصور البرمى Permian والترياسى Triassic ، والجوراسى Jurassic واخير الطباشيرى الاعلى Upper Cretaceous . واذا ما أخذنا الارض فى مجموعها فإن أهم الأحواض وأكثرها قيمة هى تلك التى وجدت من العصر الكربونى ، بعمر يزيد عن 300 مليون سنة ، وهو العصر الذى أطلق عليه عصر الفحم .

نشأ الفحم تماما من التحلل الجزئى للمواد النباتية وترابطها بالضغط . كانت النباتات التى عاشت فى العصر



شكل (26ـ20) طبعات الاوراق الحلقية للكالاميتس Calamites

يحمل حلقات كبرى من الفروع . علاوة على شكلها العام المتشابه للاشجار يبرز وجه اختلاف هام آخر بين نباتات ذيل الحصان العملاقة وبين نباتات ذيل الحصان المعاصرة وذلك فى وجود الخشب الثانوى وقلف سميك ، وكانت الحوافظ السبورية تحمل على أنواع مختلفة من المخاريط . وكان بعضها مشابها لتلك الموجودة فى الانواع المعاصرة ، بينما

الكربونى والتى لعبت دورا فى تكوين الفحم كثيرة الانواع ، الا أن اهم مجاميعها كانت : (1) اللبيدودنيدرون Lepidodendrons والسيجيلاريا Sigillarias واقرباءها (2) السراخس والسراخس البذرية : (3) والكوردايتلات Cordaitales (فصل 27) . لقد ماتت هذه النباتات بعد أن كانت تنمو فى غابات المستنقعات قصيرة الاشجار ومن ثم تحللت جزئيا حيث كانت تعيش . وشكلت جذورها وسيقانها وأوراقها وسبوراتها أحواضا من الخث كانت مشابهة لتلك الموجودة الآن فى الكثير من مناطق العالم . وكان التحلل جزئيا فقط حيث منعت المياه الراكدة للبرك حيث نمت هذه النباتات وصول الاوكسجين اليها . ولم تعش الفطريات محللة الخشب فى ظل هذه الظروف ومن ثم قامت البكتريا اللاهوائية بتفسيخ الخشب ولكن ببطء . وبناء على ذلك تراكم الخث Peat سنة بعد أخرى وكون الخشب والقلف والأوراق والاغصان والسبورات وحبوب اللقاح كتلة من البقايا النباتية فى كل مراحل التحلل . وكان من الممكن ان تستمر هذه المراكمة للخث طول سنوات حيث كان مناخ العصر الكربونى فى وسط آسيا وأوروبا وغرب أوروبا وشمال امريكا ، حيث تكونت احواض الفحم هذه،منتظم الدفء ومعتدلا على وجه العموم .

وتحول الخث تدريجيا الى فحم ، فالمساحات الشاسعة التى كانت غنية بخث المستنقعات وكذلك بالغابات الرطبة التى كانت اكثر كثافة بكثير مما نشهده اليوم قد غطيت بالبحار ومن ثم ماتت . وترسب فوق الخث المتكون طبقات من الطمى الرسوبى اذا انتقل بالمياه الرمل والصلصال وذلك من الاراضى المجاورة وتحولت الكتل الرسوبية الى صخر صلد . وبفعل ضغط الصخور وكذلك الحرارة الناتجة عن الضغط تحول الخث الى ليجنيت lignite ، وهو فحم ردىء النوعية وغير ناضج . تعرضت المادة العضوية لضغط شديد ومن ثم مرت بالعديد من التغيرات الفيزيائية والكيميائية تخلصت خلالها من غازات الهيدروجين والاوكسجين بنوع خاص

سببت متابعة الضغط لفترات زمنية طويلة تحويل اللجنيت الى فحم قارى bituminous coal أو Soft Coal، يحوى من الكربون ما يقارب 66٪ . وتسبب تعاقب تغيير مستوى سطح البحر فى تكون طبقات متوالية من الفحم عندما انحسرت البحار تاركة ورائها مساحات شاسعة من المستنقعات ظهرت غابات المستنقعات من جديد ، ومن ثم تكون الخث وغطته طبقات من الرسوبيات عندما ارتفع مستوى سطح البحر من جديد . ولقد وجدت طبقات عديدة من الفحم متعاقبة بلغت فى بعض المناطق حتى 100 طبقة الواحدة فوق الاخرى وفصلت بينها طبقات من الصخور الرسوبية . كان معدل تكون الفحم بطيئا للغاية ولقد قدر انه قد لزم لتكوين طبقة من الخث الصلب بسمك حوالى 30 سم ما يقارب الـ100 عام ، وان كل متر من الخث يشكل عند ضغطه مالا يزيد عن 30 سم من سمك طبقة فحم القار . ولقد اتاحت الظروف المواتية عبر ملايين السنين الفرصة امام تراكم احواض الفحم فى مساحات ضخمة مثل بنسلفانيا والمناطق المجاورة . اما مكمن بتسبورغ pittsburgh الشهير فيبلغ سمك طبقة فحمه ما يزيد عن مترين فى مساحة تزيد عن 2000 ميل مربع (أى مايزيد عن 5000 كيلومتر مربع) كما امكن العثور على مكامن جيبية للفحم الهش متفرقة يبلغ سمك الطبقة منها 15 مترا أو يزيد . اما المرحلة النهائية لتكوين الفحم فهى مرحلة الانتراسيت anthracite وهو الفحم «الصلد» hard coal ، ولقد لزمت لها ضغوط ودرجات حرارة اعلى سلطت على طبقات الفحم . ونشأت هذه الضغوط من قوى الدفع الجانبية والى اعلى من جراء تحرك طبقات الصخور اثناء عصور نشأة الجبال . وفى الاماكن التى بلغ فيها الضغط درجته القصوى تحولت احواض الفحم من النوع القارى الى النوع الانتراسيتى anthracite . وخرجت عن هذه الكتلة مادة متطايرة volatile matter ، ومن ثم تزايد المحتوى الكربونى الى ما يزيد عن 80٪ ومعظم الفحم الانتراسيتى المستخرج فى الولايات المتحدة وجد فى شرقى بنسلفانيا ولقد تكون هذا الفحم اثناء فترات دفع الصخور التى بنت جبال أبا لاشيان Appalachian وحيث لا يوجد الفحم الانتراسيتى الا فى الطبقات المطوية يكون توفره بدرجات اقل بكثير كما يكون استخراجه بصعوبة اكبر مما هو عليه الحال فى استخراج فحم القار .

وعلى الرغم من تزايد استخدام النفط والغاز لايزال الفحم يحتل مكانا مرموقا بين المواد الخام اللازمة لمتابعة السيرة الحضارية اذ يدخل الفحم فى صناعات الحديد والفولاذ والعدد والماكينات . وبتحويل الطاقة الحرارية من حرق

الفحم الى طاقة كهربائية تنير مدننا . كما يستخرج من الفحم عدد لا حصر له من المنتجات تستخدم فى الصناعات الكيميائية ـ كالصبغات والمستحضرات الطبية والراتنجات resins واللدائن plastics والكاوتشوك synthetic rubber والمذيبات والعطور . كما ان المنتجات المستخلصة من الفحم تستخدم فى تعبيد طرقنا وحفظ اخشابنا من التفسخ ولا يمكن ان نغفل ان ذلك المصدر المرموق من احتياطيات انسان العصر الحديث قد نشأ بسبب قيام الأوراق الخضراء بتثبيت طاقة الاشعاع الشمسى منذ مئات من ملايين السنين الغابرة .

الخلاصة : Summary

1 ـ تتمتع مجموعتا الليكوبسيدا والسفينوبسيدا بتاريخ جيولوجى عريق . معظم مكونات المجموعتين قد انقرض . اما اهم ممثلى الليكوبسيدا فهى انواع الحزازيات الصولجانية clubmosses (Lycopodium) ، وكذلك السيلاجينيلا المعروفة باسم الحزازيات الصولجانية الصغيرة .

2 ـ تكون الحزازيات الصولجانية Lycopodium متجانسة السبورات . وتحمل الحوافظ السبورية اما فى آباط الاوراق السبورية ، بما يشابه الاوراق الخضرية ، أو فى آباط الاوراق السبورية التخصصية المتحورة ، تلك التى تتجمع فى مخاريط strobili .

3 ـ تتشابه دورة حياة الحزازيات الصولجنية مع تلك الخاصة بالسراخس وينشأ فيها عدد من انواع الثالوسات الاولية . واهمها (1) ثالوس اولى قصير العمر يتألف من قسم هوائى اخضر وآخر قاعدى مدفون فى التربة ، وكثيرا ما تغزوه الخيوط الفطرية ، (2) ثالوس اولى طويل العمر غير اخضر يكون ترابيا بالكامل ويحصل على غذائه من التربة بمساعدة فطر مصاحب associated fungus . يتولد فى النمطين المذكورين نوعا الاعضاء الجنسية وذلك على القسم العلوى من الثالوس نفسه . يقوم سبرم متحرك باخصاب البيضة التى تنمو مكونة نباتا مورقا .

4 ـ فى دورة حياة الحزازيات الصولجانية يتضمن جيل الطور المشيجى السبور والثالوس الاولى واعضاء الجنس والامشاج . اما تراكيب جيل الطور السبورى فهى الزيجوت والجنين والنبات المورق والحوافظ السبورية وخلايا الام السبورية .

5 ـ لاتكون السيلاجينيلا Selaginella إلا متباينة السبورات . تولد حوافظها السبورية فى آباط الاوراق السبورية التى تكون دائما مجموعات تعرف بالمخاريط تتولد السبورات الصغيرة والكبيرة microspores and megaspores داخل الحوافظ السبورية الصغيرة والكبيرة .

6 ـ ينشأ الثالوس الذكرى والثالوس الانثوى فى السيلاجينيلا فى الغالب او بالكامل داخل الجدار السبور . وتنبت سبورات الكثير من الانواع داخل الحافظة السبورية وذلك قبل ان تلفظها بعد لفظ السبورات الصغيرة. تتكون السبرمات . بينما ينبت السبور الكبير وينتج ثالوسا اوليا انثويا متعدد الخلايا يحوى الغذاء المتراكم . يقع كل من السبور الكبير وكذلك الثالوس الاولى الانثوى على الارض قبل ان يتم نضج الثالوس الاولى . تنفلق جدران السبورات ويخرج منها الثالوس الاولى ، ويتكون كل من الارشيجونات والانثريدات ومن ثم تحدث السبرمات المتحركة الاخصاب . يبقى الطور السبورى الفتى ملتصقا بالثالوس الاولى الانثوى حتى يلتهم كل الغذاء المتراكم .

7 ـ يتضمن جيل الطور المشيجى من دورحياة السيلاجينيلا السبورات الصغرى والكبرى والثالوسات الذكرية والانثوية واعضاء الجنس والامشاج . ويتضمن جيل الطورالسبورى الزيجوت والجنين والنبات المورق وحوافظ السبورات الصغرى والكبرى وكذلك السبورات الصغرى والكبرى وخلايا الام لكل منهما .

8 ـ كانت الليكوبسيدا Lycopisda العناصر التى شكلت اهمية بالنسبة لكساء الارض الخضرى فى الماضى اكبر بكثير من اهميتها فى الحاضر . فكانت الحزازيات الصولجانية العملاقة الليبيدوديندورن Lepidodendron وكذلك السيجيلاريا Sigillaria اشجارا كبيرة برزت من بين كائنات

غابات العصر الكربونى . ولقد انقرضت مع بواكير الدهر الوسيط لم تنحدر الحزازيات الصولجانية المعاصرة من اصل يؤدى الى الحزازيات الصولجانية العملاقة كما لم تتبعها فى نفس الخط التطورى .

9 ـ تعتبر نباتات ذيل الحصان Equisetum هى الممثل الوحيد الحى للسفينوبسيدا Sphinopsida وسيقانها مفرغة ومعقلة ، اما اوراقها المتلاحمة والمختزلة فتتولد فى حلقات عند العقد ، وتولد الفروع ان وجدت عند هذه الحلقات ايضا . تترتب الحزم الوعائية Vascular bundles فى حلقة وليس للكمبيوم اثر . اما سيقانها فتحتوى على السيليكا بنسبة تركيز عالية .

10 ـ تعتبر نباتات ذيل الحصان Equisetum متجانسة السبورات وتولد حوافظها السبورية على حوامل الحوافظ السبورية ، غمدية الشكل والتى تأخذ ترتيبا يؤدى الى تكوين مخاريط طرفية . تسقط السبورات على التربة ومن ثم تنتج ثالوسات اولية خضراء تكون مزودة بعدد من الفصوص الخضراء القائمة وفى العادة ينشأ كلا نوعى الاعضاء الجنسية على نفس الثالوس الاولى ، يتم الاخصاب فيها عن طريق السبرمات المتحركة .

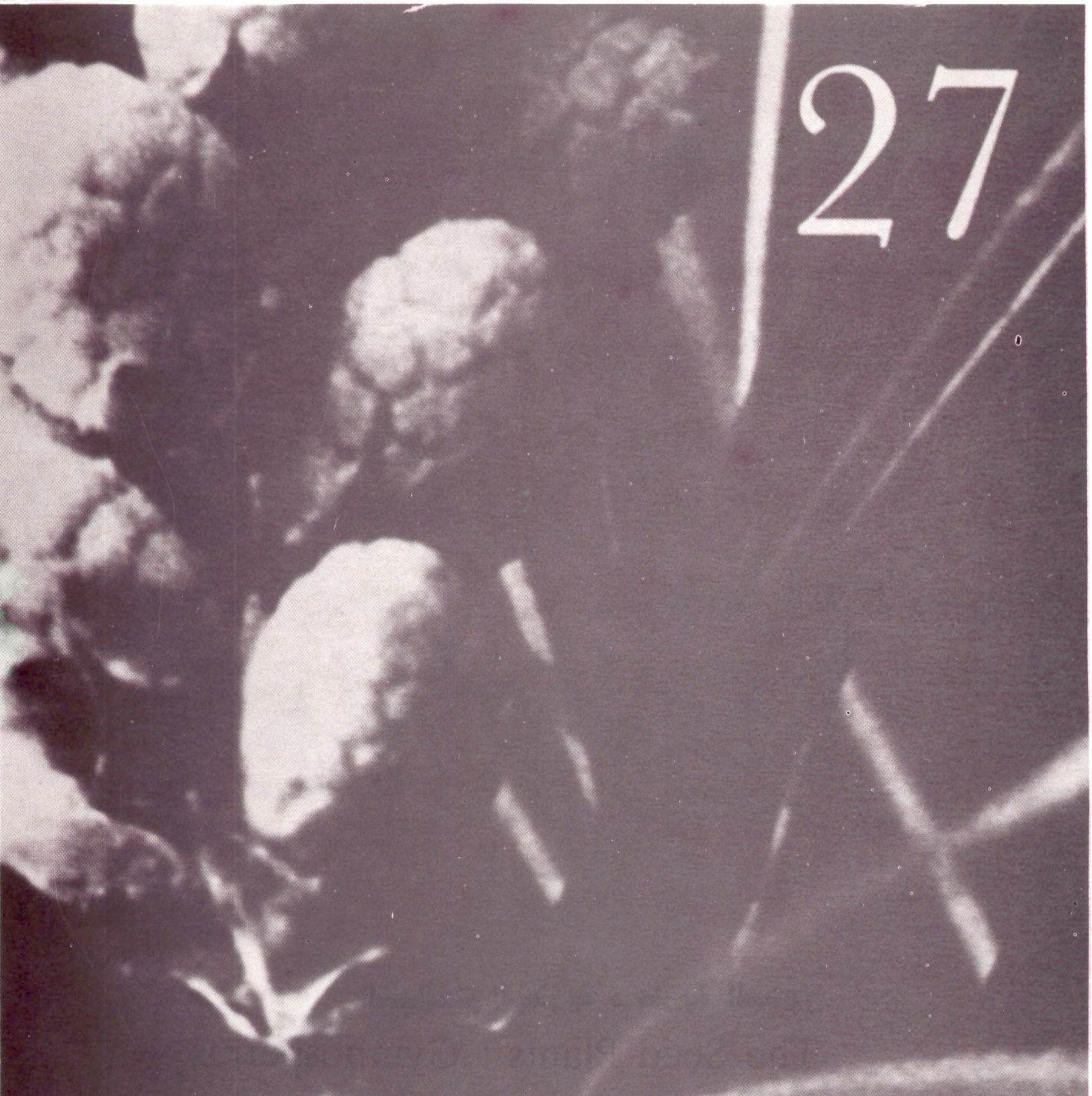
11 ـ يتضمن جيل الطور المشيجى فى نباتات ذيل الحصان ، السبورات والثالوسات الاولية واعضاء الجنس والامشاج ، اماجيل الطور السبورى فيتضمن الزيجوت والجنين والنبات الظاهر وحوامل الحوافظ السبورية والحوافظ السبورية وخلايا الام السبورية .

12 ـ ان نباتات الكالاميتس Calamites ذات القربى بنباتات ذيل الحصان المعاصرة قد كانت من بين ابرز ممثلى السفينوبسيدا فى العصر الكربونى .

13 ـ يتألف الفحم من بقايا نباتية دفنت وتعرضت لزيادة فى الضغط ودرجة الحرارة . اما مجاميع النباتات الرئيسية التى كونت الفحم اثناء العصر الكربونى فقد كانت اللبيدودينـدرونـات Lepidodendrons والسيجلاريا Sigillarias واقرباءها من السراخس والسراخس البذرية واخيرا الكوردايتالات Cordiatales .

النباتات البذرية : عارية البذور

The Seed Plants : Gymnosperms


27

النباتات البذرية : عارية البذور

The Seed Plants : Gymnosperms

تستحق النباتات الوعائية Vascular Plants (Tracheophyta) بعضا من الاهتمام والدراسة التفصلية ، بسبب اهميتها للانسان من بين رعايا المملكة النباتية . لقد تعرضنا ببعض من التفصيل في الفصول السابقة من هذا الكتاب لاربعة من الاقسام الفرعية للنباتات الوعائية ـ البسيلوبسيدا Psilopsida والليكوبسيدا Lycopsida ، والسفينوبسيدا Sphenopsida والبتيروبسيدا Pteropsida . والقسم الفرعي الخاص والاخير من هذه المجموعة هو النباتات البذرية (سبيرموبسيدا) Spermopsida . ويتكون هذا القسم الفرعي الاخير من رتبتين : الرتبة الاولى تشمل نباتات عارية البذور ـ Gymnosperms (Gymnospermae) وهي موضوع هذا الفصل . اما الرتبة الثانية فتتألف من النباتات مغطاة البذور Angiosperms (Angiospermae) . ولقد تحدثنا عنها في الفصلين الثاني عشر والثالث عشر ، وسنعاود الحديث عنها في الفصل ـ28 . ومن بين النباتات الوعائية كلها تصبح النباتات عارية البذور ومغطاة البذور محط اهتمام الانسان . اما من حيث تجميع هاتين الرتبتين في قسم فرعي واحد فلم يكن له من المبررات غير السهولة وحدها وانطلاقا من قاعدة اساسية هي امتلاك الرتبة للبذور .

السمات العامة General Features

تعتبر عاريات البذور من اعرق النباتات ، فأصل بعضها يمتد في الماضي حتى يوصلها بالعصر الكربوني . والكثير منها قد انقرض وتعرفنا عليه من حفرياته فقط . ويعني الاسم Gymnopermae « البذور العارية » ولقد استنبط هذا الاسم بسبب ان بذور هذه النباتات تتولد على سطح نتؤ بدلا من تكونها داخل المدقة Pistil ، مثلما هي الحال في مغطاة البذور angiosperms . تجمع عاريات البذور مجاميع شديدة التباين تمثل عددا من مسارات التطور . كان يعتقد في وقت ما ان هذه المجاميع لاتتصل بروابط القربى ، الا ان تراكم الادلة يدل على ان المجموعة كلها يمكن ان تكون قد انحدرت بصورة مباشرة او غير مباشرة من مجموعة من نباتات العصر الديفوني الاعلى التي لقبت باسم عاريات البذور الاولية Progymnosperms

تعتبر عاريات البذور متباينة السبورات اذ تنتج كلا من السبورات الصغيرة والكبيرة على حد سواء . تحتفظ الحافظة

السبورية الكبيرة Megasporangium بالسبورات الكبيرة . وفيها تنبت مكونة الطور المشيجى الانثوى Female Gametophyte . يطلق مصطلح البويضة Ovule على كل من حافظة السبورات الكبرى والطور المشيجى الانثوى الذى تغلفه ، وكذلك الغلاف البويض Integument . ويتكون جنين بعد الاخصاب ، كما ينضج الغلاف البويضى مكونا غلاف البذرة Seed Coat . وربما تدخل البذرة الناتجة فى طور سكون Resting Stage ، ويستأنف النمو عند وقت الانبات . ينشط الطور المشيجى الانثوى والجنين اعتمادا على الغذاء المسند من النبات الام .

تنبت السبورات الصغيرة العاريات البذور ، وتكون حبوب اللقاح ، وتنتشر الاخيرة بفعل الرياح ثم تحط على بويضة او على مسافة قريبة جدا منها . تنشىء حبوب اللقاح Pollen Grains انابيب اللقاح . وذلك بالنسبة لعاريات البذور الحية ، الا ان هذه التراكيب لم يعثر عليها فى الفصائل المنقرضة ، بل وربما لاتكون قد تطورت ضمن المجاميع المذكورة . هناك سمة ملموسة تميز عاريات البذور وتتلخص فى احتمال ان تكون كل فصائلها المنقرضة والحفرية بالاضافة الى فصيلتين حيتين هما السيكاداليس (Cycadales) وفصيلة (Ginkgoales) قد استبقت السبرم السابح الذى كان موجودا فى الاسلاف المائية . وفيما عدا القليل من الشواذ فإن التراكيب التكاثرية لعاريات البذور تنشأ فى مخاريط Strobili

عاريات البذور المنقرضة Extinct Gymnosperms

السرخسيات البذرية The Seed Ferns (Pteridospermales)

تعتبر الطبقات الجيولوجية الخاصة بالعصر الكربونى غنية بحفريات النباتات شبه السرخسية ، التى قد تشكلت بالضغط وكانت من الاوراق . كان بعض الحفريات بصورة مؤكدة حفريات لسرخسيات حقيقية ، ذ انها تحمل بثرات Sori . ومع ذلك فقد كان اغلبها يوجد لوقت طويل فى الحالة العقيمة Sterile Condition . ولذلك كان يشك فى ان هذه الاوراق العقيمة لم تكن اورقا سرخسية ، ولكن ربما كانت

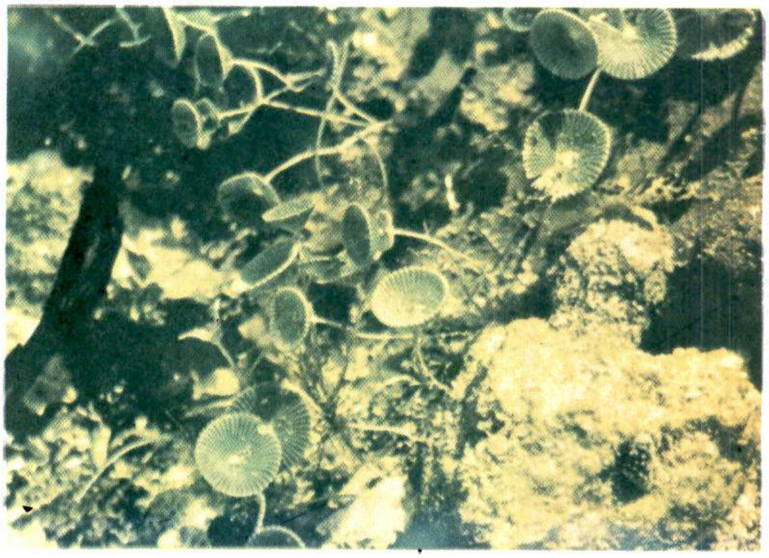


شكل (27 ـ 1) نباتات فى غابة من العصر الكربونى . إلى اليسار : أحد نباتات ذيل الحصان العملاقة . إلى اليمين : أحد السرخسيات البذرية (Neuropteris) . فى الوسط : جذع شجرة السيجيلاريا (Sigillaria) . أما النبات الظاهر أسفل السرخس البذرى فهو من الكوردايتالات (Cordaites) .

تعود لمجموعة اخرى . ولقد تأكد هذا الشك مع بواكير القرن العشرين عن طريق اكتشاف اوراق حفرية تحمل حوافظ سبورية صغيرة وبذورا ، ويحق لنا والامر كذلك ان نحكم على النباتات التى تحمل مثل هذه التراكيب بأنها قد كانت نباتات بذرية وليست سراخس ، ومن هنا جاءت تسميتها بالسرخسيات البذرية Pteridosperms .

تباينت كثيرا السرخسيات البذرية من حيث التركيب والمظهر . ومن المؤكد ان بعضها كانت من النباتات الكبيرة (شكل : 27ـ1) وانها تشابه الاشجار السرخسية

كأس حورية البحر Wine'glass
Mermaids (Acetabularia)
الطحالب الخضراء البحرية . يعتبر كل قرص
خلية واحدة .



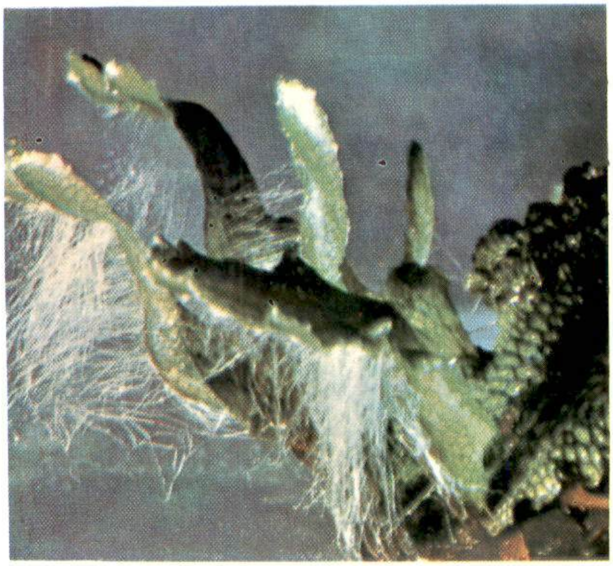
لوحة 10 Irish moss



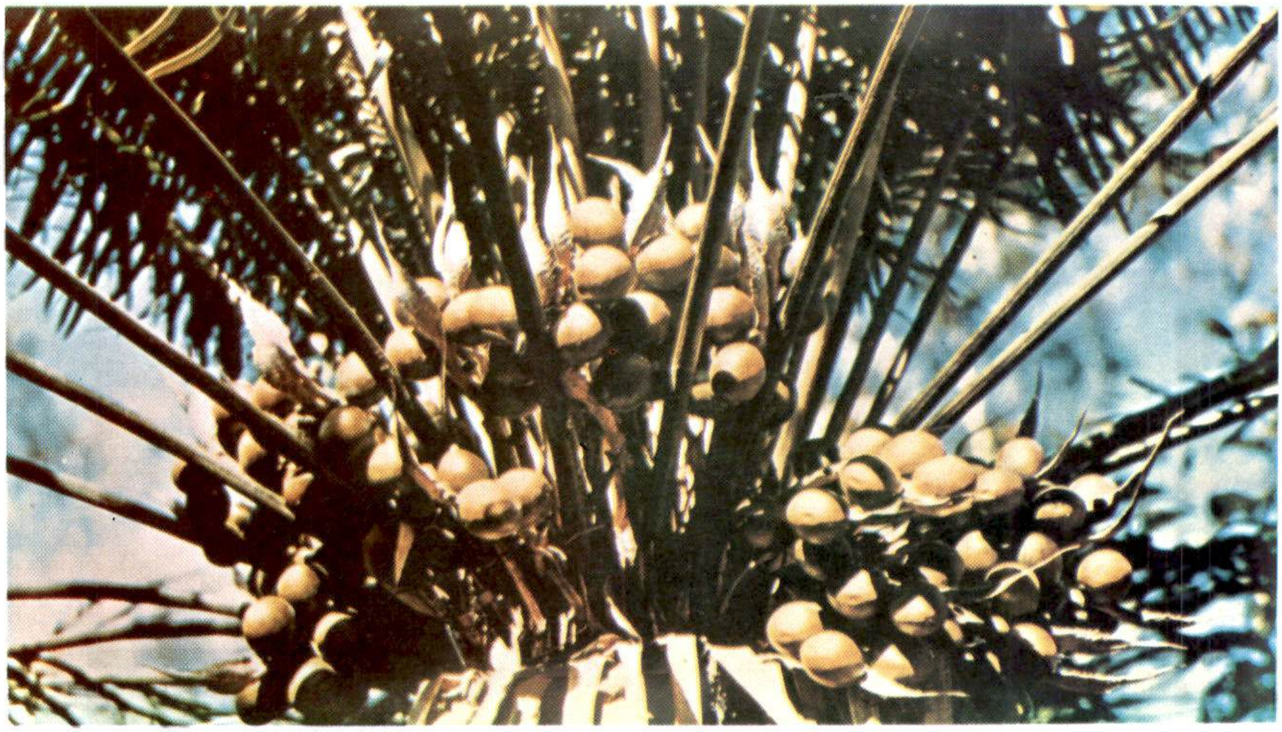


لوحة ـ 11 : أشنات قشرية Crustose Lichens
نامية على صخرة رملية فى جبال البرتا الصخرية ، كندا ، على ارتفاع حوالى 1960 م . أشنة قشرية (صفراء) (Lecanorac muralis) ، أشنات قشرية (برتقالية) (Xanthoria alegans) ، اشنات قشرية (رمادية داكنة) (Rhizocarpon disporum) ، واشنات قشرية (شيباء) (Lecidea tesselata)

لوحة ـ 12 : المركانتشيا (Marchantia) .
إلى اليسار : جزء من النبات تظهر عليه أشباه الجذور .
اليمين : نبات أنثوى يحمل الحوامل الجنسية الارشيجونية والجيمات gemmae .



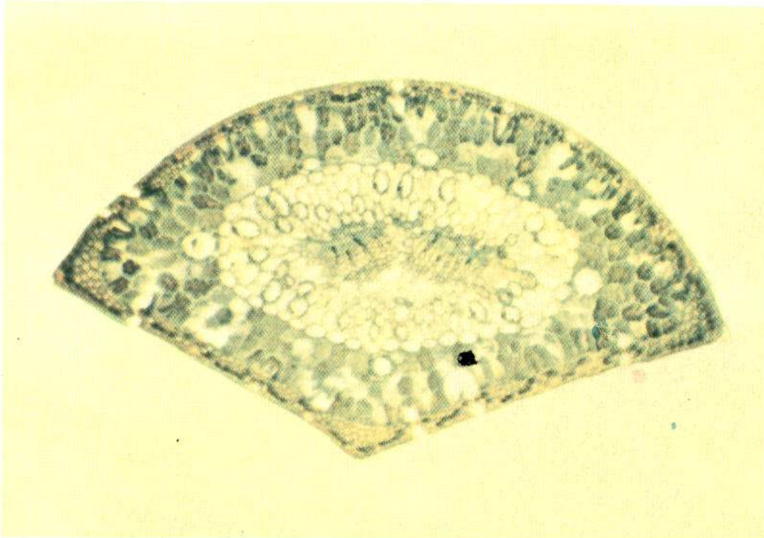




لوحة ـ 13 : أحد السيكاسيات (Cycas media) ، وتظهر بذوره محمولة على تراكيب شبه ورقية مرتبة فى عناقيد مخلخلة . يبلغ طول النبات فى العادة حوالى الثلاثة أمتار ، أما أوراقه فيصل طولها إلى 130 سم . ينبت هذا الجنس فى المنطقة الواقعة من اليابان إلى استراليا وكذلك الهند ومدغشقر .



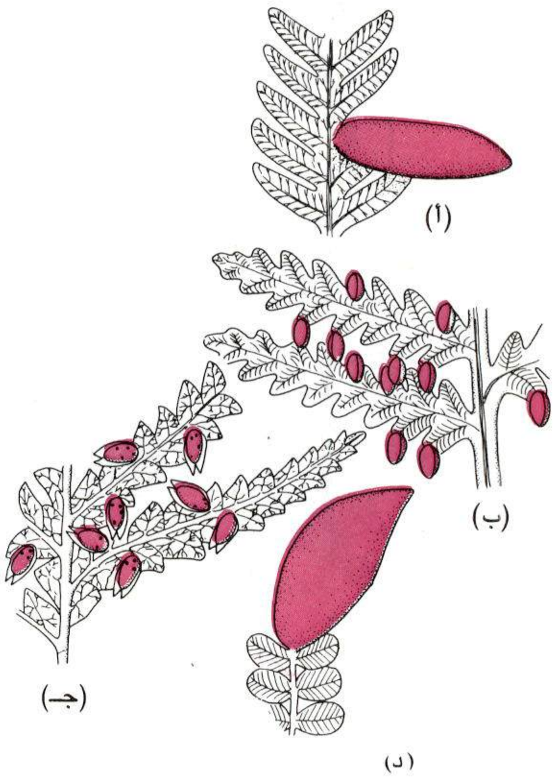
لوحة ـ 14 : جزء من كتلة يحتمل أن تكون لأحد نباتات الاروكاريا (Araucarioxylon arizonicum) موجودة فى الغابة الوطنية المتحجرة باريزونا .



لوحة ـ 15 : قطاع عرضي في ابرة صنوبر (Pinus palustris) ويوضح الحزمتين الوعائيتين المميزتين لورقة الصنوبريات الصلدة .



لوحة ـ [illegible] زهرة نعل السيدة الجبلي mountain Ladys Slipper (Cypripedium montanum) غرب امريكا الشمالية . تظهر [illegible] الاسدية العقيمة منثنية فوق فتحة الشفة .



شكل (27 ـ 2) بذور سراخس بذرية .
أ ـ الأليثوبتريس (Alethopteris) ، حيث تحل البذرة محل احد أجزاء الورقة .
ب ـ البيكوبتيريس (Pecopteris) ، حيث تكون البذور حافية .
جـ ـ الامبليكوبتريس (Emplectopteris) ، تعلو البذور السطح العلوى من الورقة .
د ـ النيوبتريس (Neuropteris) ، حيث تكون البذور طرفية فى الورقة .

المعاصرة ، بينما كان بعضها الآخر اصغر حجما ، نحيف السيقان التى كانت على الارجح مدعومة بالنباتات المحيطة . لقد اختلفت السرخسيات البذرية عن السراخس الحقيقية ، ليس فقط من حيث طبيعة تراكيبها التكاثرية ولكن ايضا من حيث انها كانت تحوى الكمبيوم ، الذى وجد فى الكثير من الانواع مشكلا كمية كبيرة من الخشب الثانوى . وكانت الاوراق المركبة Compounded Fronds ، كبيرة يتجاوز طولها العديد من الاقدام . كانت اكياس اللقاح Pollen Sacs والبذور تولد ليس فى مخاريط ولكن على الاوراق مباشرة . اما البذور فكانت تولد باشكال مختلفة بما فى ذلك الشكل الحافى Marginal ، على اقسام الورقة ، وتحل فى ذلك محل احد الاقسام فى الورقة بالكامل ، وتكون على اى من السطحين العلوى او السفلى ، وقد تكون طرفية Terminally (شكل : 27ـ2). وربما كان الاخصاب يتم من قبل السبرمات السابحة . كما كانت البذور الناتجة متباينة من حيث الطول ، فمن بضعة ملليمترات الى 50 ملليمترا او يزيد . اكتسبت السرخسيات البذرية اهمية قصوى وانتشارا واسعا فى العصر الكربونى ولكن حفرياتها قد اظهرت انها عاشت بين العصر الكربوني الادنى والعصر الجوراسى . ولدى التخمين حول اصل مغطاة البذور Angiosperms يرددون كثيرا الاعتقاد بأنها قد نشأت عن مجمع السرخسيات البذرية Seed Fern Complex ، الا ان السجل الحفرى قد جاء خاليا من دلائل مقنعة بذلك .

البينيتيتالات The Bennettitales

بينما كان الدهر القديم Paleozoic Era يتميز بالسراخس والسرخسيات البذرية ، وكان الدهر الحديث Cenozoic Era يتميز بتكوين النباتات الزهرية ، نجد ان الدهر الوسيط Mesozoic Era قد اكتسب اسم عصر عاريات البذور . كما كانت البينيتيتالات Bennettitales من ابرز عاريات البذور فى ذلك العصر . ولقد اكتسبت البينيتيتالات اسمها من مكتشفها عالم النبات البريطانى بينيت J . J . Bennett (1801 ـ 1876). ومما لاشك فيه ان هذه النباتات كانت سمة بارزة وشائعة ميزت الكساء الخضرى فى الكثير من بقاع العالم اثناء العصور الترياسى الاعلى Upper Triassic . والجوراسى Jurassic والطباشيرى المبكر Early Cretaceous (شكل : 27ـ3).

كانت الاجسام التكاثرية تولد فى مخاريط ، وكان كل مخروط يتألف اساسا من قسم متضخم مخروطى مركزى ، يحمل البذور ، وكذلك من مجموعة من الاوراق السبورية الصغرى Microsporophylls ، اتصلت فى حلقة احاطت بقاعدة العمود المركزى Central Column . كان المخروط



السيكاديودى Cycadeoidea عاريات بذور من الدهر الوسيط العصر الجوارسى الطباشيرى Jurassic — Cretaceous | الويليامسونيا Williamsonia العصر الجوارسى الطباشيرى Jurassic — Cretaceous | الويلانديلا Wielandiella | الاروكاريوكسيلون Araucarioxylon العصر الترياسى Triassic

Mesozoic Gymnosperms

شكل (27 ـ 3) يعتبر الاروكاريوكسيلون (Araucarioxylon) نباتا منقرضا من عائلة مخروطية حية . أما الويلانديلا (Wielanldiella) ، والويليامسونيا (Williamsonia) ، والسيكاديودى (Cycadeoidea) ، فكلها تعود الى البينيتيتالات ـ Bennettiales . كان النباتان الاولان نحيفين ومتفرعين ، أما الثالث فكان له جذع قصير وسميك وغير متفرع .

يحوى فى بعض المجموعات كلا من الاعضاء الذكرية والانثوية على حد سواء . بينما كانت هذه الاعضاء توجد فى مجاميع اخرى ضمن مخاريط مختلفة تولد اما على النبات الواحد او على نباتات منفصلة . كانت الساق فى بعض البينيتيتالات Bennettitales نحيفة نسبيا ومتشعبة (مثلما هى الحال فى كل من الويلانديلا Wielandiella والوليمسونيا Williamsonia شكل (27ـ3). كما ان السيكاديودى Cycadeoidea . الاكثر تخصصا والمعروفة بشكل افضل من غيرها (شكل : 27ـ3)، كان لها جذع برميلى الشكل وغير متفرع لايتجاوز طوله 90 سم ، وكان مغطى بدرع مكون من القواعد الباقية للاوراق . وكانت الشجرة تحمل تاجا طرفيا من اوراق تشابهت مع اوراق النخيل . كما كانت المخاريط ثنائية الجنس Bisexual تنشأ فى اباط الاوراق على طول جوانب الجذع .

وكان يعتقد لوقت طويل ان الحوافظ السبورية الصغرى فى هذا الجنس تتولد على حلقة من الاوراق السبورية الصغرى الريشية المركبة pinnatlely compound microsporophylls ، التى تمددت فى ما بعد فى صورة تشبه الزهرة . وتشير البحوث مع ذلك الى ان الحوافظ السبورية الصغرى كانت مندمجة فى كتلة تحيط بالمنطقة المركزية الحاملة للبذور ، وان التراكيب الحاملة لحبوب اللقاح لم تتمدد او تنتفخ مثلما تشير الصورة المكونة عن الحفريات (شكل 27 : 3).

ولم تتعرف بعد عن الظروف التى قادت الى انقراض



شكل (27 ـ 4) عاريات بذور من الدهر القديم
اليسار : الكوردايتالات اليمين : المخروطيات

هذه المجموعة عند انتهاء العصر الطباشيرى ، ولكن يحتمل ان تكون البينيتيتالات التى كانت تنمو ببطء وبقامة قصيرة قد قضت عليها ، عوامل تنافس النباتات على الضوء والماء مما يتيح فرصة اكبر امام النباتات الاطول قامة والاسرع نموا والاعرض اوراقا من بين مغطاة البذور التى سرعان ما اتسع انتشارها على العصر الطباشيرى . وكان من بين هذه النباتات اشجار الحور poplarوغار الرند laurelsوشجرة الخبز breadfruitوالمنجوليا magnolias والبلوط oaks والجميز sycamore وغيرها كثير . ولم تكتف هذه الاشجار الجديدة بأن تكسب قصب السبق فى النمو ، ولكنها أيضا انتجت اعدادا اكبر من البذور الجاهزة للانتشار .

الكوردايتالات The Cordaitales

لقد اكتسبت أشجار الغابات هذه المنقرضة اسمها من عالم النبات الاسترالى كورد A.K.J.Corda (1809 ـ 1849). وكانت هذه الاشجار تقارن من حيث الحجم بالمخروطيات المعاصرة شكل (27 ـ 4) . وكانت جذوعها الطويلة تتفرع عادة عند القمة فقط . وكانت هذه الفروع العالية تحمل أعدادا كبيرة من الاوراق شريطية الشكل تفاوتت حجما باختلاف الانواع وتراوحت طولا بين 15 ـ 90 سم.اتصفت هذه الاوراق بالمتانة وجلدية المظهر ، وكانت تحوى تحورات تركيبية داخلية بسبب الجفاف Internal xeromorphic modifactions ، مثل وفرة النسيج السكلرنشيمى Sclerenchyma tissue وتعتبر طبعات اوراق الكوردايتالات من الحفريات الشائعة فى الحجر الرخو shale المرافق للفحم البيتومى . كما كان تركيب الخشب يماثل خشب المخروطيات الحية . وكانت اكياس اللقاح والبويضات تولد فى الكوردايتالات على انفراد فى عناقيد تشبه النورات الهرية Catkinlike clustresوذلك على الفروع الجانبية الخصيبة . ولم يتم العثور على انابيب لقاحية ، ويحتمل ان يكون الاخصاب قد تم بنشاط سبرمات سابحة . وقد حصلت



شكل (27 ـ 5) : احد السايكاسات (Zamia tuerckheimii) ، وموطنه أمريكا الوسطى .
اليسار : نبات يحمل مخاريط لقاحية .
اليمين : نبات يحمل مخروطا بذريا

هذه المجموعة على اعلى تطور لها فى العصر الكربونى الاعلى الا انه ثبت انها عاشت بدءا من الكربونى الادنى وانتهاء بالبرمى . وربما تكون اشكال بدائية من الكوردايتالات قد الفت رصيدا سلفيا نشأت عنه المخروطيات المعاصرة .

عاريات البذورالحية Living Cymnos-perms

السيكاسيات The Cycads (Cycadales).

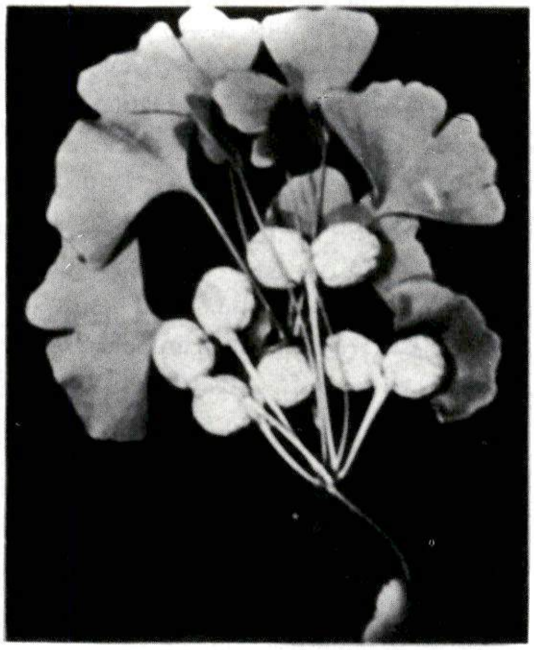
تشكل السيكاسيات مجموعة صغيرة تعيش منها عشرة اجناس تحوى حوالى 100 صنف . توجد كلها فى المناطق الاستوائية لكل من نصفى الكرة الارضية الشرقى والغربى . وعلى الرغم من ان حفريات السيكاسيات ليست شائعة كثيرا ، الا ان المجموعة كانت واسعة الانتشار بدءا من الترياسى المتأخر وحتى الطباشيرى المبكر ، وكانت تعاصرالبينيتيتالات ومنذ بداية العصر الطباشيرى اصبحت السيكاسيات محدودة العدد والانتشار . ويوجد فى نصف الكرة الغربى اربعة اجناس منها، وأكثرها تعدادا هو جنس الزامياZamia ، ويعيش فى فلوريدا والمنطقة الممتدة من المكسيك إلى شيلى . اما اجناس السيكاسيات الستة الباقية فموطنها استراليا وجنوب افريقيا .

تكون الساق غير متفرعة نمطياً ، يعلوها تاج من اوراق مركبة طويلة وجلدية المظهر وتكون هذه النباتات شبيهة بالنخيل شكلا (شكل :27: 5). وفى بعض الانواع تكون الساق قصيرة للغاية متخذة شكلا شبيها بالدرنةtuber like ، بينما تكون سيقان انواع اخرى من النوع العمودى Columnarعلى الرغم من ان أنواعا بعينها من السيكاسيات ربما تطول قامتها الى ان تصل الى عشرة امتار او يزيد ، إلا ان غالبيتها لا تزيد على المترين طولا فى العادة . وتزرع بعض انواعها فى حدائق النباتات والمتنزهات كنباتات للزينة ، وكثيرا ما يخلط العامة بين السيكاسيات والنخيل .

والسيكاسيات ثنائية المسكن تماما (شكل : 27 ـ 5) . تولد الاكياس اللقاحية على اوراق سبورية صغيرة حرشفية scalelike microsporophylls ، وتوجد فى مخاريط مدمجة . وفيما عدا جنس واحد تكون الاوراق السبورية الكبرى megasporophyllsالحاملة للبذور مرتبة ايضا فى مخاريط منظمة . ومع ذلك تولد البذور فى جنس السيكس Cycasعلى تراكيب ورقية الشكل ، تنتظم فى عنقود مخلخل حول قمة الساق (لوحة 13) . وتكون المخاريط المؤنثة كبيرة عادة لا تتناسب حجما مع حجم النبات . ويقال ان احد الانواع وموطنه شرق استراليا ، تكون مخاريط الانوثة بطول يصل الى المتر الواحد ويزن حتى 38 كغم . ويقع التلقيح بالرياح . عندما تنبت حبوب اللقاح تنشأ انابيب اللقاح التى تحوى سبرمات متحركة وكبيرة للغاية وتعتبر هذه اكبر الامشاج المتحركة فى المملكة النباتية على الاطلاق . اذ ربما



شكل (27 ـ 6) : أشجار كزبرة البئر ، توضح الشكل العام للنمو .



شكل (27 ـ 7) : كزبرة البئر (شجرة المعبد) Ginkgo biloba) . الأوراق والبذور .

يصل قطر الواحد منها الى 180 ميكرونا ، ويحيط به ما يصل الى 20 الف سوط مرتبة حلزونيا حوله ، ويمكن رؤية الواحد منها بالعين المجردة .

يرجح الرأى الشائع أن اصل السيكاسيات الى السرخسيات البذرية من حيث الاصل ، ويرجح ان تكون هذه النشأة حدثت أثناء اواخر الدهر القديم . كما يعتقد ان البيتيتالات قد نشأت هى الاخرى عن مجمع السراخس البذرية ، ولكن فى مسارات تطورية مستقلة عن السيكاسيات .

الجينكوالات The Ginkgoes (Ginkgoales)

تتمثل هذه الفصيلة فى نوع حى وحيد وهو الجينكو(شجرة كزبرة البئر) maidenhiar tree (Ginkgo) . وكانت هذه الشجرة الغير العادية والغامضة صينية الموطن فى الغالب ولكن هناك شك فى انها لاتزال باقية فى الصين فى حالة برية ، إذ مارست البلاد زراعتها منذ زمن بعيد . وشجرة الجينكو هى شجرة كبيرة قد يصل طولها الى 30 مترا او يزيد وهذه الاشجار من نوع صادق المحور excurrent ، ويتضح ذلك بجلاء من طريقة نموهاعبر العديد من السنوات على أقل تقدير . أما الاوراق فمروحية عريضة فى شكلها إذ يبلغ عرضها مابين 50 الى 100 ملليمتر ، وتنقسم الورقة فى الغالب الى قسمين متماثلين عن طريق اخدود عميق (شكل 27 ـ 7) . ويذكرنا انقسام نصل الورقة إلى نصفين متماثلين وانقسام كل واحد الى اقسام اصغر متساوية وكذلك شكل الاوراق بوريقات سرخس شعر الحسناء maidenhair fern ، ومن هنا اكتسب النوعان اسمهما العام . وتختلف كزبرة البئر عن غالبية عاريات البذور الحية فى كونها متساقطة الاوراق (نفضية)deciduous وتنتشر زراعة هذه الأشجار للظل والزينة فى أمريكا الشمالية وغيرها من بقاع العالم .

وأشجار الجنكو ثنائية المسكن dioecious ويعنى هذا ان

حبوب اللقاح والبذور تولد فى اشجار مختلفة . ويكون المخروط الذكرى عبارة عن تجمع قصير من أشباه النورات الهرية catkinlike aggregtion ، يتألف من ازواج الحوافظ السبورية الصغرى . وتولد البويضات ovules اما فرادى او فى ازواج وليس فى مخاريط عند نهاية عنق طويل . بعد ان يتم التلقيح بالرياح تنشأانابيب اللقاح جنبا الى جنب مع سبرمات متحركة كبرى ومن ثم يتم الاخصاب وتنمو البويضات مكونة بذورا شبه حسلية (شبه لوزية) drupelike seeds يشوبها اصفرار (شكل 27: 7) ويكون حجمها كحجم كرزة كبيرة، بينما يكون لها رائحة كريهة تنفر الناس .

والجينكوالات عريقة جدا فى نسبها ، وتحوى فصيلتها عددا كبيرا من الاجناس والانواع المنقرضة ، ويرجع اصل المجموعة الى العصر البرمى ، وما ان اذن العصر الجوراسى حتى كانت قد عمت العالم . وتدهورت الفصيلة ابتداء بالعصر الطباشيرى حتى اصبحت ممثله فى العصر الثلاثى tertiary period بجنس واحد هو الجينكو.ومع ذلك فقد استمرت أنواع هذا الجنس فى كونها اشجارا هامة للغابات خضوصا فى نصف الكرة الشمالى . وتوجد حفريات الجينكوالات بوفرة فى طبقات العصر الثلاثى لامريكا واوروبا وآسيا على حد سواء . واستمر الجينكو اثناءالحقبة البليستوسينية الحالية من الدهر الحديث Recent pleistocene Epoch ، فى العيش فى شرق آسيا وحدها ، واقتصر وجودها على نوع واحد وهو الذى بقى على قيد الحياة من المجموعة كلها ، تلك المجموعة التى احتلت لملايين السنين مكانة مرموقة فى دنيا النباتات .

المخروطيات The Conifers (Coniferales)

لقد انقــرضت عدة فصائل من عاريــــات البذور . أما الفصــــــائل البـــاقية وهى الاخــــلاف الحــــــية للمجاميع العريقة فقد قل عددها كثيرا وانواعها ومناطق انتشارها . الا ان المخروطيات تعتبر الاستثناء الوحيد من ذلك ، اذ تحوى هذه الفصيلة عددا كبيرا من الانواع الحية ويشكل الكثير منها الغابات الكثيفة فى كل من نصفى الكرة الشمالى والجنوبى . والمخروطيات رغما عن كونها مجموعة مزدهرة الآن فانها كغيرها من عاريات البذور موغلة العراقة ، اذ يمتد وجودها الى العصر الكربونى الاعلى . والكثير من جذوعها المتحجرة ضمن الغابة المتحجرة الموجودة فى اريزونا ، ما هى الا بقايا نوع من المخروطيات قد انقرض (Araucarioxylon arizonicum) ، وكان يعيش فى العصر الترياسى الاعلى (شكل : 27ـ3 ، واللوحة 14). ويوجد لهذه المخروطيات المنقرضة عدد من الاقرباء على قيد الحياة ولكن لا يقطن اى منها نصف الكرة الشمالى .

اغلب المخروطيات دائمة الخضرة evergeeen وتحوى انواعا معروفة جيدا مثل الصنوبريات Pines والتنوب الفضى spruce والتنوب fir والارز cedar وتنوب دوجلاس Douglas fir والشوكران hemlock والسكوية (الجبارة) sequoias . ويوجد جنسان فى امريكا الشمالية هما الشربين larch والسرو العارى bald cypress وهما من النفضيات (متساقطة الاوراق). وبعض انواع اشجار العرعر (من الصنوبريات) Juniper والسدر الجبلى yew ، من الشجيرات ، ولكن عاريات البذور بما فى ذلك المخروطيات تخلو جميعها من اية نباتات عشبية .

والمخروطيات (وتعنى تسميتها اللاتينية النباتات الحاملة للمخاريط) تتصف بانتاج تراكيب مخروطية strobili ، وهى من نوعين ـ مخاريط البذور seed cones ، ومخاريط اللقاح pollen cones . تعرف مخاريط البذور اثناء فتوتها وقبل اخصابها باسم المخاريط البويضية ovulate cones . تكون التراكيب اللقاحية صغيرة نسبيا ومخروطية الشكل ايضا تنشأ فرادى او فى عناقيد (شكل : 27ـ8) وتصطبغ فى العادة بدرجات زاهية من اللونين الاحمر او الاصفر . وتكون مخاريط اللقاح قصيرة العمر لاتعيش الا اياما معدودات . ولذا كان من النادر ملاحظتها . اذ تنكمش وتسقط من الشجرة حال لفظها للقاح .

ومخاريط البذور تكون خشبية التركيب (شكل : 1ـ3) وتختلف كثيرا من حيث الحجم مع اختلاف النوع ، اذ يتراوح طولها من اقل من 12 ملليمترا الى ما يقارب 60 سم ، وهو الطول الذى تصل اليه مخاريط الصنوبر السكرى



شكل (27 _ 8) : مخارط اللقاح فى الصنوبر الابيض الشرقى (Pinus strobus) ، الصورة بالحجم الطبيعى تقريبا . لاحظ القنابة المدببة الداكنة عند قاعدة كل مخروط .

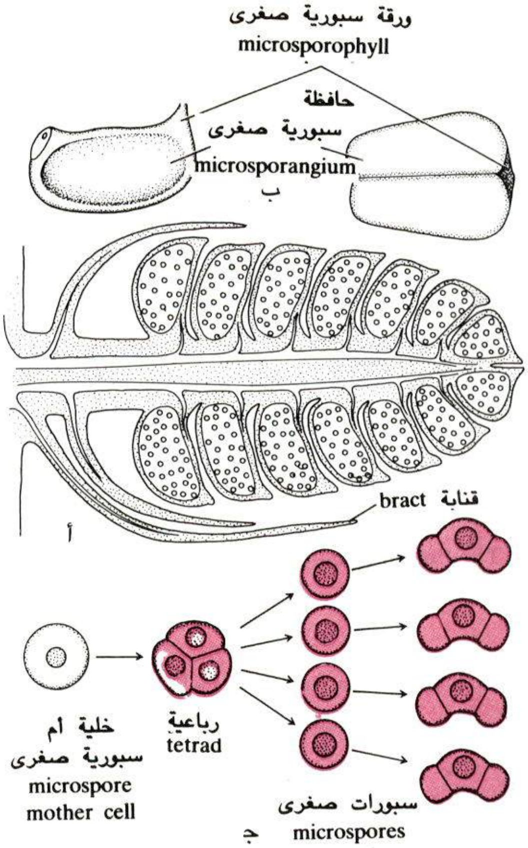
(sugar pine (pinus lambertiana ، وموطنه شمال غرب الولايات المتحدة . فى انواع بعينها من المخروطيات مثل اشجار العرعر والسدر الجبلى ، تتحور مخاريطها البويضية بتحورات كبيرا ولا تكون مخروطية الشكل ابدا ولكنها قد تشابه ثمرة التوت . على الرغم من ان بعض انواع المخروطيات تكون ثنائية المسكن ، فإن اغلبها يكون من النوع الاحادى monoecious . وفى العادة يولد نوعا المخاريط على فروع مختلفة من نفس الشجرة .

تاريخ حياة الصنوبر : Life History of Pine

تعتبر الصنوبـريات (جنس Pinus) من اشهـر المخروطيات واوسعها انتشارا فى العديد من مناطق المعمرة . اذ تنتشر هذه النباتات فى نصف الكرة الشمالى . ولا يمتد الا نوع واحد منها كى يسكن منطقة تحت الاستواء . ومن بين ما يقارب 105 من الانواع الموجودة فى العالم ، يوجد 32 نوعا من الصنوبر فى امريكا الشمالية ولا توسع الصنوبريات نطاق موطنها شمالا تجاه القطب مثلما يحدث لبعض المخروطيات الاخرى ، الا ان الصنوبريات تنبت باعداد وفيرة فى مواطن متباينة ومناطق مناخية مختلفة . اجريت الدراسات التفصيلية على الصنوبريات لاسباب بعضها جمالى والآخر لقيمة اخشابها الاقتصادية . ربما تكون دورة حياة الصنوبر من افضل ما عرفه الانسان عن دورات حياة المخروطيات ، اذ تصور هذه الدورة بخطوطها العريضة العمليات التكاثرية المميزة لكل المخروطيات الاخرى .

اللقاح ومخاريطه The Pollen Cones and Pollen

تنشأ مخاريط اللقاح فى عناقيد على شجرة الصنوبر (شكل : 27_8). ويتكون مخروط اللقاح (شكل : 27_9 أ) من محور مركزى تتصل به اعداد كبيرة من الاوراق السبورية الصغيرة Microsporophylls ، المرتبة حلزونيا حول المحور وبشكل كثيف . ويدل موقع المخروط فى ابط الورقة المتحورة (القنابة bract)، التى تكون ظاهرة قبل انتشار اللقاح ، يدل على ان كل مخروط ما هو الا فرع جانبى قصير (انظر شكل : 27_8) تحمل الاوراق السبورية الصغرى شديدة الاختزال ، والحرشفية الشكل ، حافظتين سبورتين صغيرتين Microsporangia مستطيلتين وذلك على السطح الاسفل (شكل : 27_9 ب). وتظهر مخاريط اللقاح فى الربيع ، وفى ذلك الوقت تتمايز محتويات الحافظة السبورية الصغرى متحولة إلى العديد من خلايا الام السبورية الصغرى وتتعرض الاخيرة للانقسام الاختزالى ، ويكون كل منها واحدة من رباعيات السبورات الصغرى (شكل : 27_9 جـ). تحتوى نواة كل واحد من السبورات فى هذه المرحلة العدد الكروموسومى المختزل او ما يسمى بالعدد (n) ومن ثم يكون السبور الصغير الخلية الاولى فى جيل الطور المشيجى الذكرى Male gametophyte generation ويتطور كل سبور صغير وينشىء على غالبية سطحه جدارا سميكا يتألف من طبقتين داخلية وخارجية . وسرعان ما تنفصل السبورات



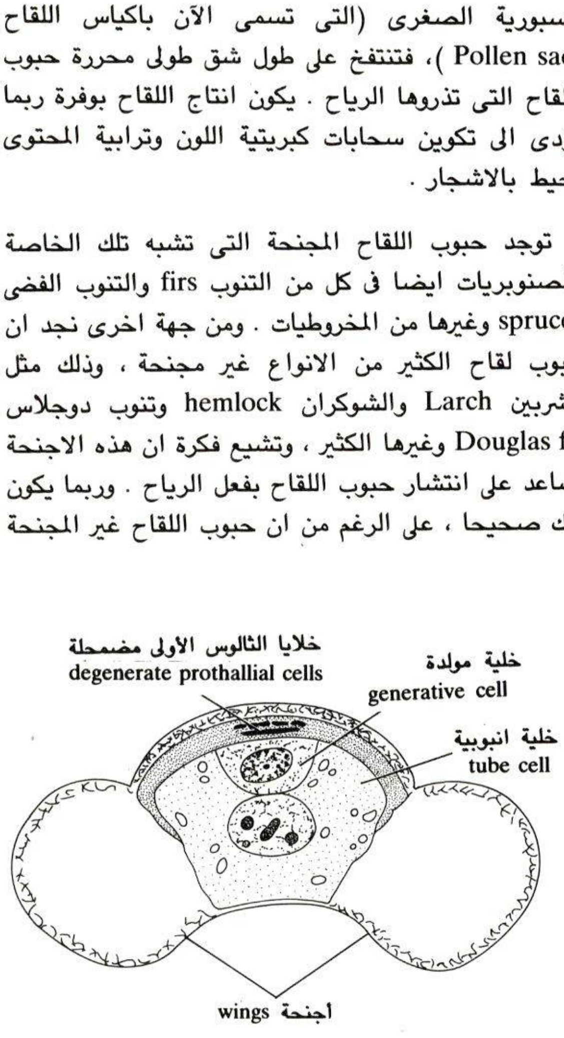
شكل (27 ـ 9) : تراكيب تكاثرية ذكرية فى الصنوبر .
أ ـ قطاع طولى فى مخروط لقاحى .
ب ـ ورقة سبورية صغرى وحوافظ سبورية صغرى بالنظر من الجانب والأسفل .
جـ ـ نمو السبورات الصغرى .

الصغرى ومن ثم تتضخم . تتمدد الطبقة الخارجية من جدار السبور فى احد جانبيها مكونة جناحا Wing او مثانة bladder مملوءة بالهواء (شكل : 27ـ10)

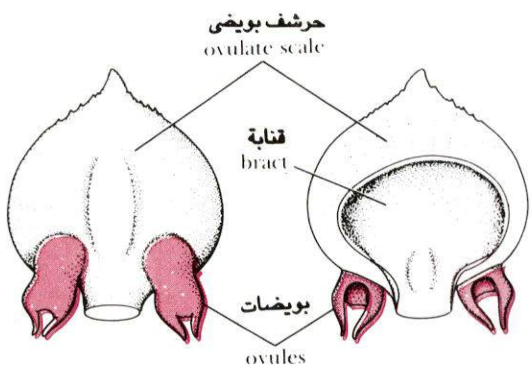
ينبت السبور الصغير الآن ، بينما لايزال داخل الحافظة السبورية . وتنقسم النواة وبعد تكرار الانقسام النووى تنشأ حبة لقاح Pollen grain ناضجة (شكل : 27ـ10). وتتألف الاخيرة من طور مشيجى ذكرى ذى تطور جزئى باختزال شديد ، يكون مغلفا بجدار السبور الصغير . يطلق مصطلح خلايا الثالوس الاولى Prothallial على اثنتين من الاربع خلايا التى تؤلف الآن حبة اللقاح . وسرعان ما تضمحل هذه الخلايا . تكون خلايا الثالوس الاولى من النوع الاثرى Vestigial وتؤلف الخلايا الخضرية الوحيدة المتبقية من جيل الطور المشيجى الذكرى . تكون الخليتان المتبقيان فى صورة خلية مولدة صغرى Small generative cell وخلية انبوبية Tube cell كبرى .

عندما تنضج حبوب اللقاح يستطيل محور مخروط اللقاح الى حد ما وتتباعد الاوراق السبورية الصغرى . اما الحوافظ السبورية الصغرى (التى تسمى الآن باكياس اللقاح Pollen sacs)، فتنتفخ على طول شق طولى محررة حبوب اللقاح التى تذروها الرياح . يكون انتاج اللقاح بوفرة ربما يؤدى الى تكوين سحابات كبريتية اللون وترابية المحتوى تحيط بالاشجار .

توجد حبوب اللقاح المجنحة التى تشبه تلك الخاصة بالصنوبريات ايضا فى كل من التنوب firs والتنوب الفضى spruces وغيرها من المخروطيات . ومن جهة اخرى نجد ان حبوب لقاح الكثير من الانواع غير مجنحة ، وذلك مثل الشربين Larch والشوكران hemlock وتنوب دوجلاس Douglas fir وغيرها الكثير ، وتشيع فكرة ان هذه الاجنحة تساعد على انتشار حبوب اللقاح بفعل الرياح . وربما يكون ذلك صحيحا ، على الرغم من ان حبوب اللقاح غير المجنحة



شكل (27 ـ 10) : حبة لقاح ناضجة فى الصنوبر

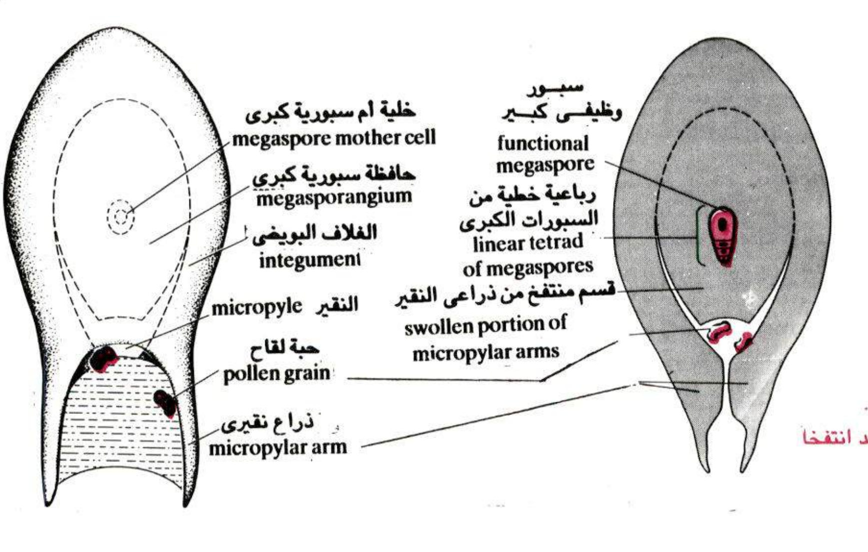


شكل (27 ـ 11) : البويضات وحرشف بويضى للصنوبر الابيض الشرقى (strobus pinus) أثناء وقت اللقاح .
إلى اليمين : المنظر من أسفل . إلى اليسار : المنظر من أعلى .

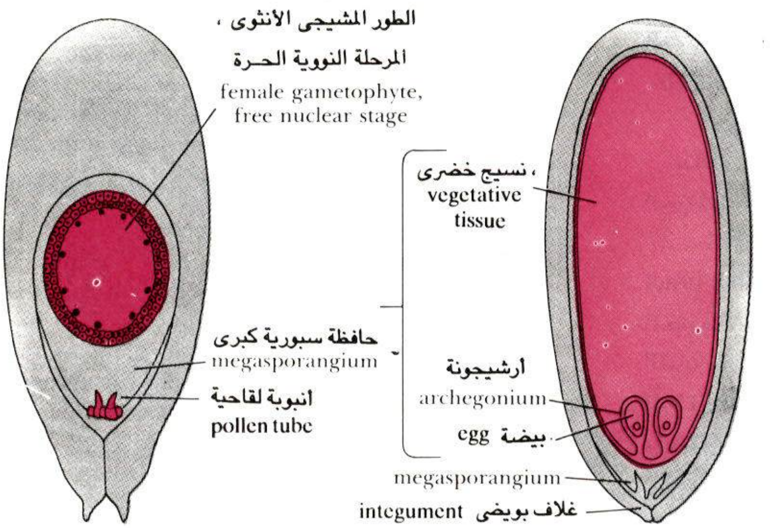
تكون فى العادة اكبر حجما من تلك المجنحة . والاقرب الى العقل نجده فى تفسير قائم على تركيب الحبوب المجنحة نفسها . ففى حبوب اللقاح غير المجنحة يكون جدار الحبة منتظم السمك ، بينما يكون هذا الجدار فى الحبوب المجنحة اقل سمكا فى جانبيه الادنى بين الجناحين ، مكونا بذلك اخدودا صغيرا (شكل : 27ـ10)، وهو الموضع الذى تخرج منه انبوبة اللقاح . عندما تجف حبة اللقاح ، ينغلق الجناحان ليغطيا هذا الاخدود ، ويشكل ذلك سبيلا لحماية حبة اللقاح من متابعة الجفاف .

البويضة والمخروط البويضى *The ovulate cone and the ovule*

يتألف المخروط البويضى من مخروط مركزى يحمل الحراشف البويضية Ovulate Scales Bract . (شكل : 27 ـ 11) يولد كل حرشف فى محور قناية شبه حرشفية Scalelike bract يتضخم كل من القناية والحرشف مع نمو المخروط ، ومع ذلك يصبح حجم الحرشف اضعاف حجم القناية بعد تضخمه ، وتوجد القناية فى المخروط الناضج عند قاعدة الحرشف مندمجة جزئيا معه . تنشأ بويضتان مقلوبتان على السطح الاعلى من حرشف المخروط البويضى وتتجه نقيراتها Micropyles إلى الاسفل فى اتجاه محور المخروط . كان يعتقد منذ زمن بعيد ان حرشف المخروط البويضى هو عبارة عن ورقة سبورية كبرى Megasporophyll ولقد كففت البحوث الحديثة رغما عن ذلك عن ان الحرشف ليس مجرد ورقة سبورية بسيطة بل هو تركيب معقد ومختزل ، يتألف من عدد من مكونات مندمجة . كما يشير موقع الحرشف فى ابط القناية الى انه فرع جانبى قصير شديد التحور ، ومن هنا يكون شبيها بمخروط لقاحى واحد . تتألف كل بويضة (شكل : 27 ـ 12)، من غلاف بويضى Integument يحيط بحافظة سبورية كبرى ويتحد معها ، ويمتد هذا الغلاف مكونا انبوبة قصيرة تخرج عن الحافظة السبورية الكبرى . كما تشكل فتحة الغلاف النقير .



شكل (27 ـ 12)
الصنوبر . اليسار : بويضة أثناء وقت اللقاح .
اليمين : بعد اللقاح مباشرة . ذراعا النقير قد انتفخا مما يؤدى إلى إغلاق النقير تقريبا .



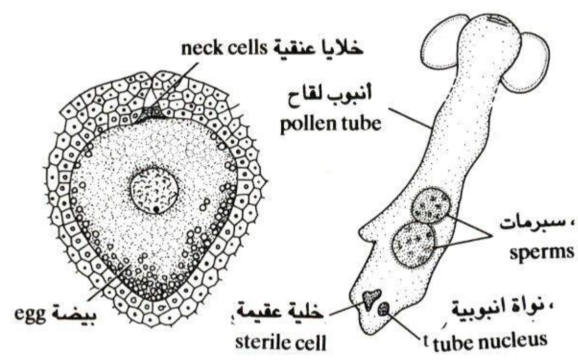
شكل (27 ـ 13) المراحل المتأخرة فى نمو بويضة صنوبرية .
اليسار : طور مشيجى انثوى ، ويقع فى الموسم الأول للنمو لاحظ ان النقـير مغلق تماما .
اليمين : طور مشيجى أنثوى ناضج ، البيضات جاهزة للاخصاب .

وينتج عن متابعة استطالة الغلاف نشؤ ذراع على احد جانبى النقير . وتحوى الحافظة السبورية الكبرى خلية واحدة كبيرة هى الخلية الام السبورية الكبرى ؛ وينشأ عن هذه الخلية بعد الانقسام الاختزالى اربعة من السبورات الكبرى ، التى تكون مرتبة فى صف . وتتحلل ثلاثة من السبورات الكبرى . بينما يصبح رابعها ، الابعد عن النقير ، السبور الكبير الوظيفى .

الطور المشيجى الانثوى : *The female gametophyte*

يتكون انبات السبور الكبير من تضخم وانقسام يجريان فى النواة . ويتتابع الانقسام الخلوى حتى تكوين عدد كبير من الانوية الحرة Free Nuclei . وهنا يتوقف الانقسام وتنشأ جدران خلوية تفصل بين الانوية (شكل ؛ 27ـ13 الى اليسار). ويكون الجسم متعدد الخلايا الناشىء عبارة عن الطور المشيجى الانثوى (شكل : 27ـ13 الى اليمين). واثناء المراحل المتأخرة من التطور ، يصبح عدد من الارشيجونات يتراوح بين الاثنين والخمسة متمايزا عند الطرف النقيرى من الطور المشيجى . وتكون الارشيجونة الناضجة فى الصنوبر اكثر اختزالا مقارنة بارشيجونة السراخس . وفى الاساس تتألف الارشيجونة من عدد صغير متغير من الخلايا العنقية Neck Cells تقع فوق بيضة كبرى

شكل (27 ـ 14) الارشيجونة والأنبوب اللقاحى
(اليسار) : الارشيجونة والبيضة
(اليمين) : أنبوب لقاح وطور مشيجى ذكرى . رسم تخطيطى .



مباشرة (شكل : 27ـ14 الى اليسار). ويحيط غمد من خلايا تخصصية بالبيضة ، يذكرنا بالقاعدة المتضخمة للارشيجونة . الا ان هذا الغمد Sheath لايكون مع ذلك جزءا من الارشيجونة ، ولكنه يتألف من خلايا متحورة تابعة للطور المشيجى الانثوى .

ويمكن مقارنة الطور المشيجى الانثوى للصنوبر وظيفيا بالاندوسبرم (السويداء) Endosperm فى بذور مغطاة

البذور التى تراكم الغذاء فى مثل هذا النسيج ، فكل من الطور المشيجى الانثوى والسويداء (الاندوسبرم) يمد النبات بالغذاء اثناء تكوين البادرات Seedlings . ويختلف الطور المشيجى الانثوى عن السويداء رغما عن هذا فى عدد من الخصائص . اذ انه يتكون قبل الاخصاب ، وتحتوى انويته على العدد الكروموسومى (n) كما انه ينتج ارشيجونات . وعلى النقيض من ذلك تنشأ السويداء بعد الاخصاب وتملك انويتها العدد (3n) الكروموسومى ولا تنشأ عنها ارشيجونات .

التلقيح والاخصاب *Pollination and fertilization*

يقتصر تحرير اللقاح على فترة لاتتعدى اياما محدودة . وربما تقع هذه الفترة فى اى وقت اثناء فصل الربيع او مع بواكير الصيف ، تبعا لخطوط عرض المنطقة وتبعا لنوع النبات المعنى . واثناء فترة تحرر اللقاح تنمو المخاريط البويضية الصغيرة قائمة عند اطراف الفروع وتنفرج الحراشف متباعدة فى بعضها (شكل : 27ـ15) . وتفلت حبوب اللقاح الى اسفل متخللة الحراشف ومن ثم تسكن فوق حافة النقير وعلى الاذرع النقيرية على الجوانب (شكل : 27ـ12 الى اليسار) . ويسرى سائل مفرز الى الاسفل من الحافظة السبورية الكبرى ، فيملأ القناة النقيرية Micropy- lar Canal . وسرعان ماينسحب هذا السائل بعد ملامسته لحبوب اللقاح وتحمل حبوب اللقاح ، الى اعلى مع السائل الى ان تدخل تجويفا طبقى الشكل يعلو الحافظة السبورية الكبرى . ومن ثم تنتفخ المناطق القاعدية من الاذرع النقيرية ، وتغلق النقير اثناء ذلك ، ومن ثم توفر الحماية لحبوب اللقاح على الحافظة السبورية الكبرى (شكل : 27ـ12 الى اليمين وشكل : 27ـ13 الى اليسار) . ثم تذبل الاذرع وتنمو الحراشف البويضية كى تصبح متضاغطة مع بعضها (شكل : 27ـ13 اليسار) فى الكثير من الصنوبريات ينثنى المخروط تدريجيا الى اسفل نتيجة لتقوس عنقه الذى ينشأ عليه .

تنبت حبة اللقاح منتجة انوية لقاحية تخترق نسيج الحافظة السبورية الكبرى (شكل 27ـ13 الى اليسار) . وتتقدم نواة الانبوبة مع طرف الانبوبة اللقاحية وتنقسم



شكل (27 ـ 15) مخاريط بويضية للصنوبر الأبيض عند وقت اللقاح

الخلية المولدة الى خلية عقيمة Sterile Cell وخلية منشأ السبرم Spermatogenous Cell ، وتستمر الاخيرة فى الانقسام مكونة مشيجين ذكريين او سبرمين غير متحركين . ويكون احدهما اكبر من الآخر فى العادة . ومن هنا يكون الطور المشيجى الذكرى كامل النمو فى الصنوبر مكونا من خليتى ثالوس اولى مضمحلتين ، ومن نواة الانبوبة وخلية عقيمة واخيرا سبرمين (شكل : 27ـ14 الى اليمين). ولا تزال اهمية الخلية العقيمة غير معروفة ، ويحتمل ان تكون تركيبا اثريا . بعد ذلك تخترق انبوبة اللقاح الحيز بين الخلايا العنقية للارشيجونة ومن تم تحرر محتواها فى البيضة ، يندمج اكبر السبرمين مع نواة البيضة ، كما تتحلل انوية الطور المشيجى الذكرى المتبقية .

عنصر الوقت فى التلقيح والاخصاب ونضوج البذرة

The Time Element in Pollination, Fertilization, and Seed Maturity

فى الصنوبريات تمضى فترة مرموقة بين اول ظهور للمخاريط البويضية وبين نضوج البذرة . ولا تنضج المخاريط ولا البذور فى نفس موسم النمو الذى وقع فيه التلقيح وذلك فى كل انواع الصنوبريات التى درست دورات حياتها . وتكون الفترة بين التلقيح والاخصاب شديدة الطول على النقيض من الحالة الواردة فى مغطاة البذور ، حيث يحدث الاخصاب عادة خلال بضع ساعات او ايام بعد التقليح

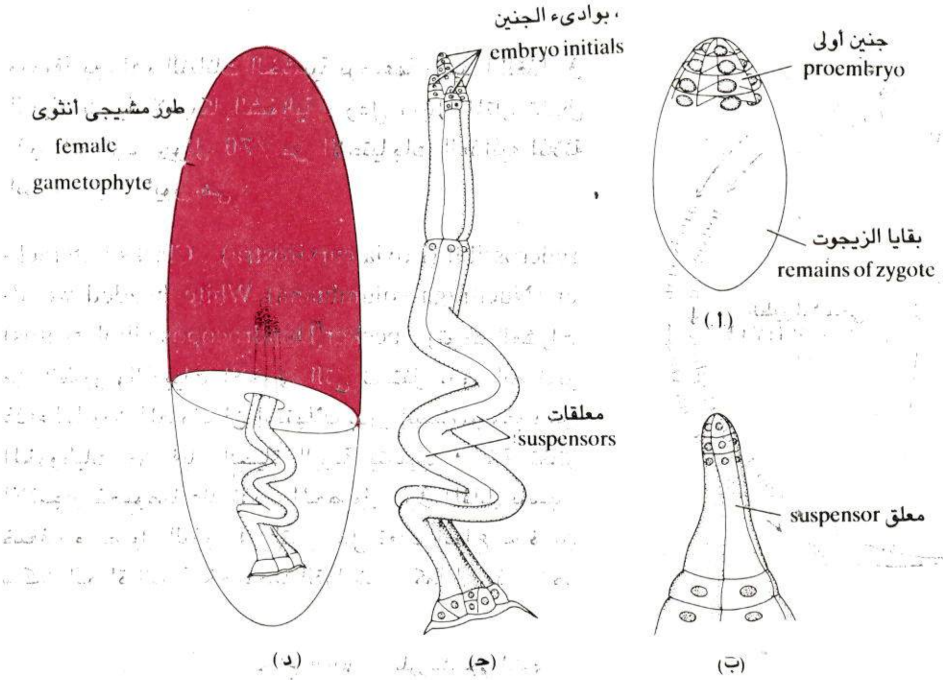
وعلى سبيل المثال نأخذ الصنوبر الابيض الشرقى Eastern White Pine (Pinus strobus) الذى نجد فيه ان البويضة تتقدم الى مرحلة خلية الام السبورية فقط اثناء فترة التلقيح ، ويستمر النمو ببطء اثناء الموسم الاول ، وما ان يحين الخريف حتى يكون المخروط والبويضة (شكل : 27ـ12 الى اليسار) قد تضخما لعدة اضعاف ، وينبت السبور الكبير مكونا عددا من الانوية الحرة (ربما 32). اما انابيب اللقاح التى تكون قد اخترقت الحافظة السبورية الكبرى فتتوقف عن النمو مع بواكير الشتاء . ويتجدد النمو فى الربيع ويستمر بسرعة . وفى اواخر الربيع او بواكير الصيف من العام الثانى يكون الطور المشيجى الانثوى قد



شكل (27 ـ 16) مخاريط الصنوبر الأبيض
(اليسار) : مخروط بويضي عند نهاية أول موسم للنمو .
(اليمين) : مخروط بذرى عند نهاية الموسم الثانى للنمو ، انفتح المخروط مطلقا بذوره كى تسقط بعيداً .

اكتمل نموه وتكون بيضاته جاهزة للاخصاب (شكل : 27ـ13 الى اليمين). ويتم ذلك فى اواسط شهر يونيو بعد مضى قرابة العام من وقت التلقيح . ويكون حجم البويضة عند حلول وقت الاخصاب مساويا تقريبا لحجم البذرة الناضجة . ويستمر المخروط فى النمو وينضج مع اقتراب الصيف من نهايته ، وذلك فى السنة الثانية ، وبعدها تنفرج الحراشف عن بعضها ومن ثم تنتشر البذور (شكل : 27ـ16 الى اليمين)

وفى هذه الحالة التى تفصل فيها عدة شهور بين التلقيح والاخصاب ، توجد فى بعض المخروطيات الاخرى بجانب وجودها فى الصنوبريات . الا ان غالبية مخروطيات المناطق المعتدلة الشمالية ، مثل التنوب الفضى والتنوب والشربين والشوكران تملك فترة لاتزيد عن بضعة اسابيع تفصل بين التلقيح والاخصاب . وتنضج بذور هذه المخروطيات فى نفس الموسم الذى وقع فيه التلقيح .



شكل (27 ـ 17) مراحل فى نمو جنين الصنوبر

الجنين والبذرة والبادرة *The embryo, seed, and seedling*

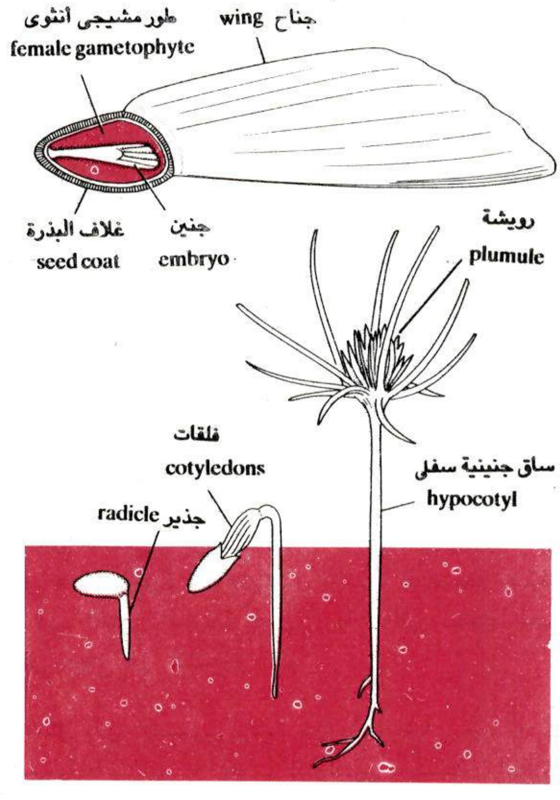
ينتج عن البيضة المخصبة Fertilized Egg جنين أولى Proembryo وذلك بعد انقسامات نووية وتكوين جدران خلوية (شكل : 27ـ17 أ). ويتكون الجنين الاولى من 16 خلية تترتب فى اربعة صفوف يحوى كل منها اربع خلايا . ويقع الجنين الاولى عند طرف البيضة المقابل لعنق الارشيجونة . وهنا تستطيل خلايا الجنين الاولى تحت قمته مباشرة حتى يصبح حجمها عدة اضعاف حجمها الاصلى وتكون بذلك المعلقات Suspensors (شكل : 27ـ17 ب ، جـ) وتنقسم الخلايا القمية للجنين الاولى وتنشىء كل واحدة من الخلايا الاربع لهذا الصنف جنينا ، وتتسبب استطالة المعلقات التى تصبح شديدة التعرج والالتواء ، فى دفع الاجنة غير الناضجة الى داخل نسيج الطور المشيجى الانثوى حيث ينشأ حيز عن طريق تفاعلات انزيمية (شكل : 27ـ17 د). اثناء متابعة تطور الاجنة يكتسب واحد منها القدرة على البقاء وتموت الاخرى نتيجة للتنافس بينها داخل الطور المشيجى الانثوى .

يتألف جنين الصنوبر الناضج (شكل : 27ـ18) من رويشة Plumule ، وسويقة جنينية سفلى Hypocotyl وجذير Radicle وعدد متغير من الفلقات Cotyledons (حوالى الثمانية). ويكون الجنين مدفونا فى الطور المشيجى الانثوى الذى يكون بدوره محاطا بغلاف بذرى صلد ناشىء عن غلاف البويضة . وفى عدد من انواع الصنوبريات يصبح قسم من السطح العلوى للحرشف مندمجا مع البويضة ثم ينشق عنها بصورة جناح يتصل بالبذرة الناضجة وتنتشر مثل هذه البذور المجنحة بفعل الرياح التى تحملها لعدة اقدام بعيدا عن الشجرة الام .

تشكل بذور الصنوبر وغيره من المخروطيات الى حد ما مصدرا غذائيا هاما للطيور آكلة البذور وكذلك القوارض rodents وغيرها من الحيوانات . تتبوأ الصنوبريات جنبا الى جنب مع اشجار البلوط مكانة

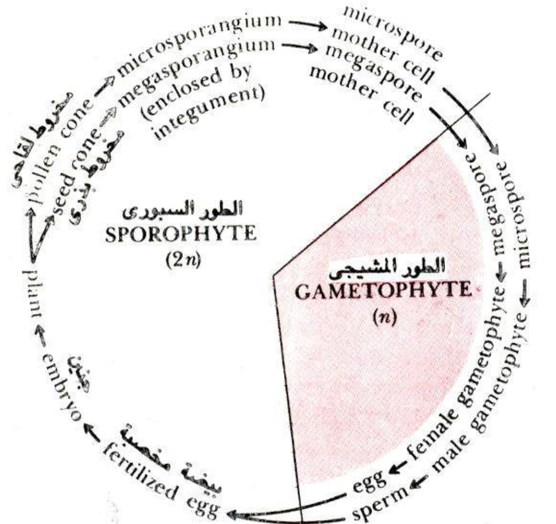
مرموقة بين اهم النباتات الخشبية بوصفها مصدرا للغذاء فى الحياة البرية لامريكا الشمالية . وعلى سبيل المثال تشكل بذور الصنوبر حوالى 70٪ من الاحتياجات الغذائية لثلاثة انواع من الطيور هى :

redcrossibll (Loxia curvirostra) , Clarks nutcracker (Nucifraga columbiana) White–headed woodpecker (Dendrocopos albolarvatus) ، وتوجد العشرات من الطيور والثدييات الاخرى التى تستغل بذور الصنوبر غذاء لها ومن المعروف أن إستهلاك بذور الصنوبر وغيره من المخروطيات من قبل الحياة البرية يتسبب فى قلة تكاثر الاشجار خصوصا عند نقص المحصول . وفى المقابل يتسبب ضعف محصول البذور فى التأثير على تعدد انواع عدة من سكان الحياة البرية خصوصا القوارض . كما ان بذور احد



شكل (27 ـ 18) بذرة الصنوبر وبادرته .

(الأعلى) : البذرة . (الأسفل) : مراحل الانبات .



حافظة سبورية صغرى microsporangium

حافظة سبورية كبرى (مغلفة بالغلاف البويضى) megasporangium (enclosed by integument)

خلية أم السبور الصغير microspore mother cell

شكل (27 ـ 19) دورة حياة الصنوبر

انواع المخروطيات وهو صنوبر البنيون pinon pine وموطنه جنوب غربى الولايات المتحدة قد استخدمت لفترة طويلة قواما لقائمة طعام الهنود الحمر .

يتشابه انبات بذرة الصنوبر (شكل 27ـ18) مع الكثير من مغطاة البذور اذ يبزغ الجذير من غلاف البذرة ويخترق التربة . وتصبح السويقة الجنينية السفلى (تحت الفلقية) مقوسة بنموها وسرعان ما تظهر فوق سطح التربة . ثم تستقيم حاملة الفلقتين وغلاف البذرة الى الاعلى وتمتص الفلقتان الغذاء من البذرة وحتى ينفذ . ومن ثم يسقط غلاف البذرة بعيدا . تنتج الفلقتان المخضرتان الغذاء اللازم ، ويستمر بقاؤهما لوقت طويل لمدة موسم نمو واحد أو اثنين . اما الرويشة التى تكون مدفونة بعمق داخل حلقة الفلقتين فتنشىء الساق والاوراق التابعة للطور السبورى الناضج الذى ربماينمو حال بدايته ويستمر النمو للعديد من مئات السنين . يوضح الشكل (27ـ19) دورة الحياة الكاملة للصنوبر بصورة تخطيطية .

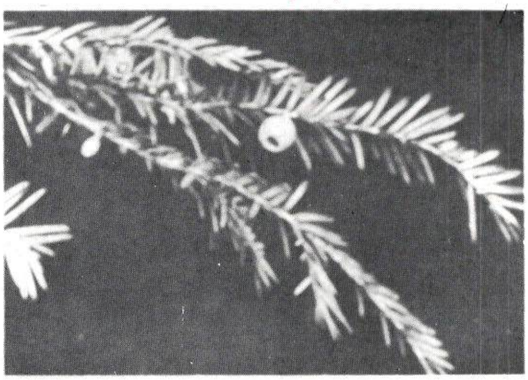
بعض المخروطيات المعاصرة
Some Modern Conifers

أن الاقتصار على دراسة الدورة التكاثرية للصنوبر لا يحقق ادراك وفهم المخروطيات ككل ، خصوصا فيما يتعلق بتباينها ، إذ تعتبر المخروطيات مجموعة من الكبر والانتشار والاهمية بمكان بحيث يتعذر الاكتفاء بمجرد اعتبار طرق تكاثرها ليس الا ، على الرغم من اهمية ذلك ايضا . فالمخروطيات تحوى حوالى 550 نوعا تصنف ضمن 7 عائلات اشهرها عائلة الصنوبر . وسوف نناقش خمس عائلات منها فقط.تزودنا المخروطيات بقسم كبير جدا من احتياجاتنا من الاخشاب وكذلك من المواد الخام اللازمة لصناعة الورق . وتصلح اخشابها لعدد كبير من الاستخدامات كما تسهل معالجته وتصنيعه . كما تشمل العديد من الانواع التى اشتهرت بجمالها بجانب شهرتها باخشابها ذات القيمة العالية .

عائلة السدر الجبلى : Yew Family (Taxaceae)

تتضمن عائلة السدر الجبلى الصغيرة كلا من الاشجار والشجيرات . ولا يكون التركيب التكاثرى الانثوى ذا شكل مخروطى ولكنه يتألف من بذرة وحيدة يحيطها غطاء لحمى ويكون هذا الغطاء بشكل شبه كأس cuplike فى اشجار السدر الجبلى Yews (Taxus) ، ويكون حجمه قريبا من حجم بذرة البازلاء الكبيرة (شكل : 27ـ20) وتتخذ اللون

شكل (27 ـ 20) السدر الجبلى الشرقى Eastern yew (Taxus canadensis)

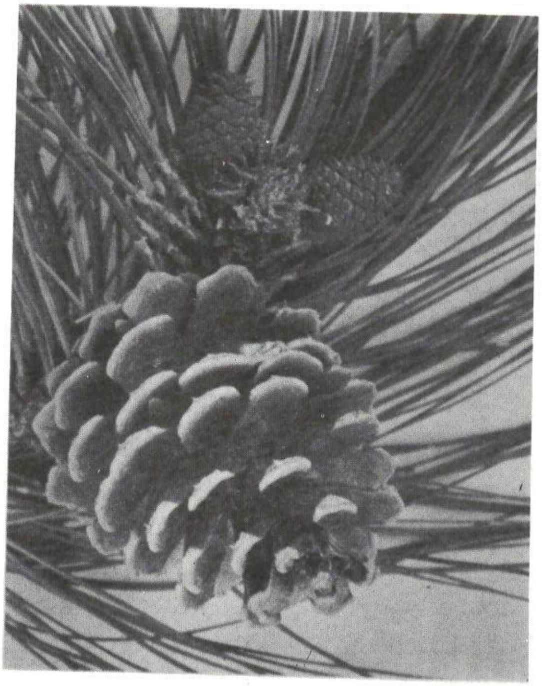


القرمزى scarlet عند نضوجها كثيرا ما تستغل اشجار السدر الجبلى كنباتات للزينة ، نظرا لحسن مظهرها وبطء نموها وبهاء اوراقها القصيرة المفلطحة اللماعة يستوطن العديد من انواع هذه العائلة امريكا الشمالية واوربا وآسيا . كما ان السدر الجبلى الانجليزى وهو شجرة موطنها اوربا وغرب رسيا وشمال افريقيا تكون معمرة لوحظ على العديد من انواعها ضخامة الحجم . وفى وقت ما استحسن استخدام خشبها فى صناعة الاقواس التى عادت بالشهرة على الرماة الانجليز .

عائلة الصنوبر : Pine Family (Pinaceae)

لا تشكل انواع الصنوبر الا جزءا من عائلة الصنوبر ويسهل التعرف عليها من اوراقها الابرية الشكل والطويلة التى تتخذ عادة تجمعات عنقودية من ورقتين او ثلاث او خمس . تصنف الصنوبريات للتسهيل الى مجموعتين : الصنوبر الابيض او الرخو ، وتكون ابره مجمعة فى عناقيد خماسية والصنوبر الصلد وتكون ابر اشجاره فى عناقيد ثنائية او ثلاثية (شكل : 27ـ21) ويمكن ملاحظة سمة اخرى تفرق بين المجموعتين عند فحص قطاع عرضى يمر بوسط الابرة . اذ تحتوى ابرة الصنوبر الرخو على حزمة وعائية واحدة تقطع طول الورقة ، بينما توجد حزمتان منها فى ورقة اشجار الصنوبر الصلد (لوحة ـ 15) . يكون خشب الصنوبر الصلد اثقل عادة واكثر صلادة مقارنة بخشب الصنوبر الرخو كما تكون الفوارق بين مناطق حلقات النمو اكبر بحيث يبرز رسم اوضح فى الواحها .

كان احد انواع الصنوبر الرخو وهو الصنوبر الابيض الشرقى واحدا من اهم مصادر الخشب فى امريكا الشمالية ولقد استحسن هذا الخشب بحيث استنفذت كل احتياطياته منذ قرن مضى ولم يبق الا النذر اليسير من بقايا غاباته الضخمة التى كانت فى يوم ما تغطى اراضى جنوب كندا وشمال شرقى الولايات المتحدة وكذلك القطاعات الشمالية من امريكا اما خشبه فهو من النوع الرخو سهل التشغيل ومعتدل العمر ، ويستخدم فى العديد من صنوف الانشاءات . يستوطن عدد من انواع الصنوبر الابيض جبال روكى Rocky Mountain ، وولايات ساحل المحيط الهادى . ومن



شكل (27 ـ 21) صنوبر صلد هو الصنوبر الأصفر الغربى western yellow pine (Pinus ponderosa) توجد ابره فى عناقيد من ثلاثة ابر ـ يظهر فى الصورة مخروطان بعمر سنة واحدة (اى غير ناضجين) ، ومخروط ناضج واحد ، تفتح وحرر بذوره .

بين هذه الأنواع يوجد الصنوبر السكرى Sugar Pine والصنوبر الأبيض الغربى White Pine Western ويتمتعان بأهمية اقتصادية عالية .

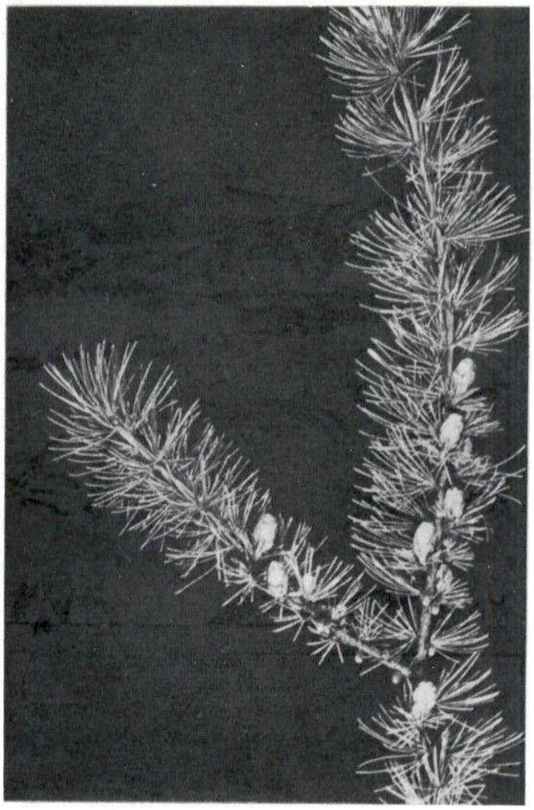
ومن بين اهم انواع الصنوبر الشرقية ثنائية وثلاثية الابر يوجد الصنوبر الاحمر red pine وموطنه الولايات الشمالية الشرقية والمحيطة بالبحيرة وكذلك نوع الصنوبر الاصفر Yellow pine الجنوبى . ينمو الاخير بسرعة كبيرة ويزدهر فى المناطق السابق قطع اشجارها والمساحات السابق حرقها وفى ترب رملية فقيرة.وتشكل الصنوبريات الصفراء احد اهم محاصيل الجنوب (من الولايات المتحدة) ، ولذا تستخدم عادة فى اعادة تشجير الغابات ومن بين الصنوبريات الصلدة الجنوبية يتخذ مكان الريادة الصنوبر الاسترالى طويل الورقة Long – leaf pine (pinus australis) انظر شكل (1 ـ 3) الذى قد يبلغ طول ابره حتى 45 سم . ويشكل هذا النوع كذلك slash pine (pinus elliottii) اهم مصادر سد احتياجاتنا من راتنج القلفونية rosin وكذلك زيت التربنتين turpentine كما ان لصنوبريات الصفراء وخصوصا صنوبر البندروزا ponderosa ، اهمية خاصة فى القسم الغربى من امريكا الشمالية اما انواع الصنوبر النمساوية Austrian والاسكتلندية Scotch وموطنها اوربا فتستخدم عادة كأشجار للزينة فى شرق الولايات المتحدة ووسط غربها . كانت الصنوبريات سمة بارزة فى غابات الارض منذ اواخر الدهر الجيولوجى الوسيط .

وعن طريق حصر حلقات النمو تم فى عام 1957 اكتشاف ان بعض اشجار الصنوبر هلبى المخروط bristlecone pine (pinus aristata) الذى ينمو فى المناطق القاحلة من شرق وسط كاليفورنيا قد فاقت فى طول عمرها الارقام القياسية التى حققتها اشجار السيكويه العملاقة giant sequoias ، التى كان يعتقد فى السابق انها تضم اعرق الاشجار . ولكن اكتشف ان العديد من اشجار الصنوبر هلبى المخروط قد عمرت اربعة آلاف سنة أو يزيد كما وجدت شجرة منها عمرت اكثر من 4600 سنة . وفى عام 1965 اكتشفت شجرة من ذلك ـ اذ بلغ عمرها حوالى 4900 سنة وذلك فى شرق نيفادا على ارتفاع يساوى 3560 مترا فوق سطح البحر (شكل : 27ـ22) . بلغ محيط جذع هذه الشجرة حوالى (7) امتار وذلك عند ارتفاع 45 سم من الارض وكان جل الشجرة ميتا ، غير انها حملت مجموعا خضريا على ارتفاع يزيد عن (3) امتار .

تضم العائلة الصنوبرية عددا من الاجناس الهامة علاوة على الصنوبريات . فانواع الشربين larches (Larix) التى تعرف ايضا باسم tamaracks هى من المخروطيات النفطية المتساقطة الاوراق فى الغابات الشمالية وتصل الى اكبر احجامها فى الجبال الغربية . ولقد تم التوسع فى استزراع نوع جلب من اوروبا واستخدم كأشجار للزينة تحمل غالبية الابر القصيرة لشجرة الشربين فى عناقيد كثيفة تعلو فروعا جانبية قصيرة (شكل : 27ـ23) . اما انواع الشوكران hemlocks (Tsuga) فتنتشر كثيرا فى ترب الغابات الباردة الرطبة . ويوجد منها اربعة انواع فى امريكا الشمالية اما



شكل (27 ـ 22) شجرة صنـوبر بـرهلبى المخروط bristlecone (Pinus aristata) عمرها 4900 سنة ، وجدت فى شرق نيفادا . أهم الأجـزاء الحية عبـارة عن مجموع خضرى يشبـه الشجرة ويظهر على اليسار من الصورة .



شكل (27 ـ 23) فريع للشربين الأمريكى American larch (Larix laricina)



شكل (27 ـ 24) أوراق ومخاريط الشوكران hemlock (Tsuga canadensis)

ابرها فقصيرة مفلطحة وحلزونية الترتيب على الاغصان غير ان اوراق ثلاثة انواع منها تبدو وكأنها تنمو من جوانب متعاكسة فى عسلوجين مفلطحين (شكل : 27 ـ 24) ، وذلك بسبب الالتواءات عند قواعدها . يعرف حوالى 45 نوعا من التنوب fir (Abies) ويقطن كل منها تحت الدائرة القطبية والمناطق المعتدلة على حد سواء فى نصف الكرة الشمالى . ويستوطن امريكا الشمالية 12 نوعا منها وتشتهر انواع التنوب باسم اشجار البلسم balsam أو تنوب البلسم fir – balsam اما اوراقها فتكون قصيرة مثلمة ومفلطحة وتشبه اوراق الشوكران ، غير انها تترك ندبة مفلطحة حلقية عندما تتساقط . اما مخاريطها فتختلف عن تلك العائدة لمخروطيات أمريكا الشمالية فى انها تنمو قائمة (شكل : 1 ـ 3) ولا تتساقط اوراقها بالكامل ، فبدلا من ذلك تتساقط الحراشف فرادى مخلفة ورائها محورا مركزيا مدببا يبقى عادة فى مكانه لعدة سنوات . هناك سبعة انواع من التنوب الفضى spruce (picea) توجد فى امريكا الشمالية منها اربعة فى الغرب وثلاثة تتوطن فى الشرق . وتدخل هذه الانواع ضمن اهم انواع الاشجار الامريكية من حيث القيمة الاقتصادية اما الاوراق (الابر) فتكون قصيرة مفلطحة او رباعية الجوانب ومدببة الاطراف عادة . عندما تتساقط الابر تخلف وراءها نتوءات شبه اسفينية peglike على اغصانها (شكل : 27 ـ 25) . اما تنوب دوجلاس douglas fir (pseudotsuga) فيعتبر واحدا من اهم اشجار غرب امريكا الشمالية . ويأتى الثانى فى ترتيب الارتفاع بعد اشجار الخشب الاحمر redwood والسيكويه sequoia . اما اوراقه فتكون مفلطحة تشبه اوراق التنوب fir . يسهل

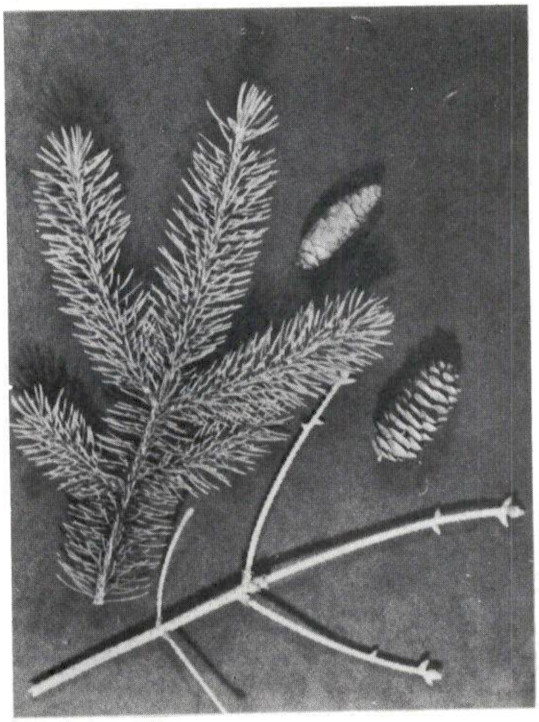
التعرف على مخاريطه حيث تكون القنابات بارزة كثيرا من تحت كل حرشف (شكل : 27 ـ 26) . وينتشر استخدام اشجار التنوب والتنوب الفضى وتنوب دوجلاس كثيرا كأشجار عيد الميلاد

عائلة اشجار الخشب الاحمر Redwood Family (Taxodiaceae)

تعتبر هذه العائلة الملفتة للانتباه المهمة محدودة فى مداها وعدد انواعها، ومن اشجار هذه العائلة شجرة السيكويه الضخمة big tree or giant sequoia (Sequoiadendron giganteum) واقرباؤها شجر الخشب الاحمر redwood (sequoia sempervirens) الذى يقطن الساحل الغربى للولايات المتحدة وكذلك السرو العارى bald cypress (Taxodium distichum) ، الذى يقطن الجنوب الشرقى ويمتد على طول وادى المسيسبى حتى يصل الى اندیانا وايلينويس . وفى الازمان الغابرة توزعت هذه العائلة حتى شملت نصف الكرة الشمالى كله . وتمتد اسلاف السيكويه المعاصرة والخشب الاحمر الى ان تصل الى العصر الجوراسى الجيولوجى ، وربما تكون الزواحف شبه الخفاشيه والطائرة قد حطت على فروع هذه الاشجار العريقة ، كما يمتد تاريخ السرو العارى الى تلك الحقب السحيق .

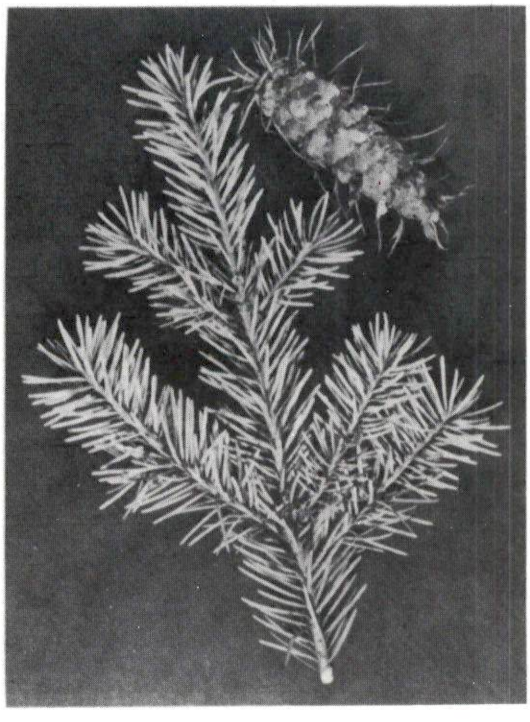
كان من اغرب المكتشفات العلمية فى العقود الاخيرة ما تم فى عام 1946 عندما اكتشف نوع جديد من المخروطيات هو خشب الفجر الاحمر dawn redwood (Metasequoia) الذى كان يعيش منذ امد بعيد فى وسط الصين وهذه الشجرة وهى شديدة القربى بالخشب الاحمر والسيكويه كانت تسود غابات العصر الثلاثى الجيولوجى ولقد اختفت من امريكا الشمالية مع حلول نهاية الحقبة الميوسينية غير انها استمرت فى الحياة فى آسيا حتى يومنا هذا وفى مساحة محدودة مما ادى الى الاخفاق فى ملاحظتها علميا .

ويدخل فى عداد هذه العائلة أطول الأشجار وأضخمها من الانواع الحية الآن. فاطول شجرة فى العالم هى للخشب الاحمر وطولها 124 مترا. أما أضخم الاشجار الحية فهى شجرة الجنرال شيرمان. وهى من السيكويه العملاقة وتنمو



شكل (27 ـ 25) التنوب الفضى الابيض white spruce (Picea glauca)

شكل (27 ـ 26) تنوب دوجلاس Douglas fir (Pseudotsuga meoziesii)





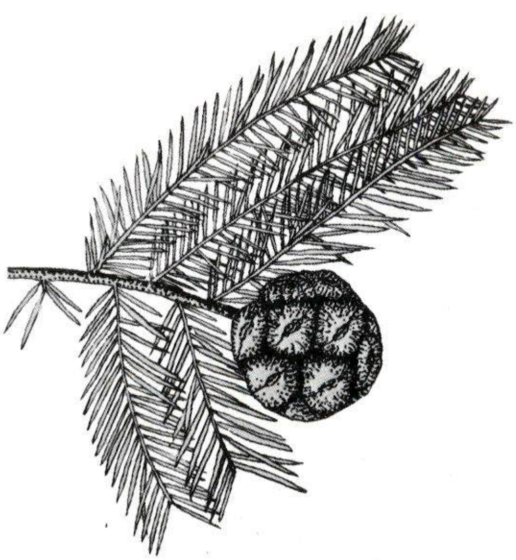


شكل (27 ـ 27) (اليسار) : الخشب الأحمر redwood (Sequoia sempervirens)
(اليمين) : الشجرة الكبرى أو السيكويه العملاقة (Sequoiadendron giganteum)

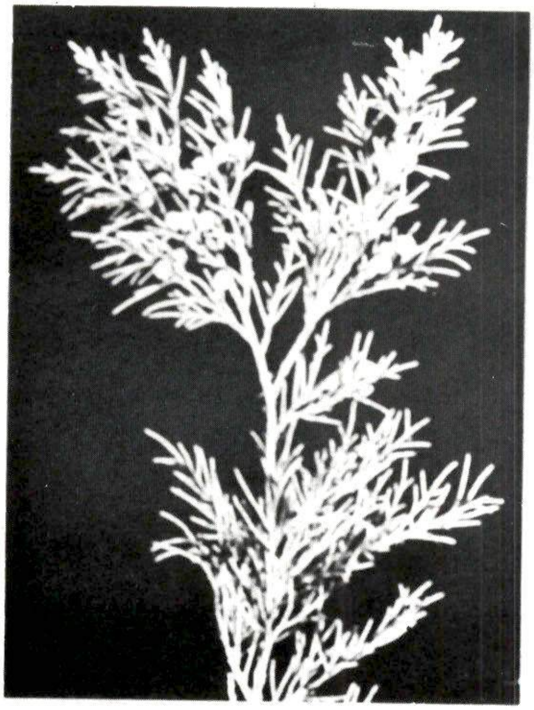
فى حديقة سيكويه الوطنية. ويبلغ ارتفاع هذه الشجرة 91 مترا، اما محيط جذعها فهو 28 مترا عند القاعدة. ومن الامور الصعبة تحديد عمر شجرة سيكويه الحية الا ان عمر شجرة الجنرال شيرمان قد قدر مع التحفظ بما لايقل عن 3500 سنة، بل ربما يصل الى 4000 سنة.

أما أوراق أشجار الخشب الأحمر أو ابره فتكون على شكل العسلوج المفلطح، فى حين تتخذ أوراق السيكويه العملاقة شكلاً شبه حرشفى يماثل شكل أوراق الارز الأحمر الشرقى eastern red cedar وتكون مخاريط الشجرتين صغيرة (شكل 27ـ27)، أما قلفهما فيكون ليفيا باللون البنى المحمر، وربما يزيد سمكه عن 30 سم فى الاشجار الكبيرة ويتمتع بمقاومة عالية للحريق.

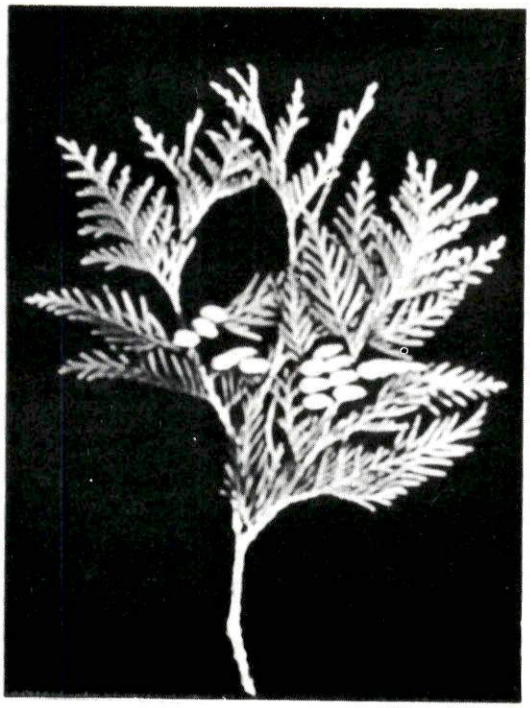
وربما يصل السرو العارى (شكل 9ـ14 وشكل: 27ـ28) الى أحجام وأعمار كبيرة. وتظهر الاوراق فى طابقين، وبينما لاتفقد اتصالها بالاغصان branchlets الجانبية تتساقط فى نهاية موسم النمو.



شكل (27 ـ 28) السرو العارى
bald cypress (Taxodium distichum)



شكـل (27 ـ 29) الأرز الأحمـر
red cedar (Juniperus virginiana)



شكل (27 ـ 30) الأرز الأبيض -
white cedar or arborvitae (Thuja occidentalis)

عائلة السرو Cypress Family (Cupressaceae)

تتضمن هذه العائلة حوالى 18 جنسا تتوزع فى طول المعمورة وعرضها، ويوجد منها فى امريكا الشمالية عدد من الاجناس والانواع، الا أننا سنقتصر على ذكر بعضها فقط. وأفراد هذه العائلة تكون من الاشجار فى الغالب الا أنها تتضمن عددا من الشجيرات، وتكون الاوراق البالغة صغيرة فى العادة شبه حرشفية، وتوجد فى أزواج او ثلاثيات، تكون مضغوطة بشدة على الساق. ويحتل مكانة مرموقة بين الاشجار الغربية كل من الأرز الاحمر الغربى Western red cedar (Thuja plicata) وأرز بورتاورفورد Port Orford cedar (Chamaecyparis nootkatensis)، أما فى الشرق فيوجد منهـا الأرز الاحمر red cedar Juniperus virginiana (شكل 27 ـ 29) وكذلك الارز الابيض white cedar or arborvitae (Thuyja occidentalis) (شكل: 27 ـ 30) وهما شائعان هناك.

يزرع الكثير من أنواع السرو cypress (Cupressus) وكذلك بعض أفراد العائلة كأشجار للزينة، كما استنبط منها الكثير من الاصناف البستانية. وتحمل كل أعضاء العائلة فيما عدا جنس العرعر Juniperus مخاريط جافة صغيرة، وتكون حراشف مخروط الأرز لحمية تنمو سويا، مكونة تركيبا يشبه التوتة وفى حجم يقارب حبة البازلاء الصغيرة، ويتخذ اللون الازرق عند البلوغ (شكل: 27ـ29).

يؤدى استعمال كلمة «الارز» فى الاسماء العامة لبعض اعضاء هذه العائلة الى الكثير من الخلط. فأنواع الأرز الحقيقية هى فقط تلك الداخلة فى جنس الأرز Cedrus من عائلة الصنوبريات، وموطنها الأصلى الهملايا وآسيا الصغرى ولبنان. علما بأن أرز لبنان الشهير لوروده فى الكتاب المقدس يعود الى جنس الأرز. كما يستخدم اسم الأرز فى امريكا الشمالية كاسم عام لانواع عدة من الاشجار تنمو فى بقاع مختلفة من المنطقة.

عائلة الأروكاريا Araucaria Family (Araucariaceae)

لايوجد من أنواع هذه العائلة مايستوطن امريكا الشمالية الآن. أما فى نصف الكرة الجنوبى ونعنى الفلبين ونيوزيلندة وجزر الهند الشرقية واستراليا فيوجد أنواع من جنس العائلة المذكورة. وهذه المجموعة عريقة القدم وكانت أثناء الدهر الوسيط وفيرة فى أمريكا الشمالية (انظر شكل: 27_3 ولوحة ـ 14). وهناك نوع من عائلة الاروكاريا يسمى بصنوبر بارانا parana pine يعتبر من أثمن الاخشاب فى أمريكا الجنوبية ويحل فى بعض المناطق محل الصنوبر فى الشمال. وهناك عدة أنواع من الاروكاريا مثل لغز الارض monkey puzzle وموطنه شيلى والبانيا ـ بانيا bunya – bunya وموطنه استراليا وصنوبر جزيرة نورفولك Norfolk Island pine، وتزرع فى الصوبات الزجاجية كما تزرع فى العراء فى المناطق الدافئة فى الولايات المتحدة وخصوصا على طول الساحل الغربى.

الخلاصة: Summary

1 ـ تصنف عاريات البذور هى ومغطاة البذور ضمن القسم الفرعى ـ النباتات البذرية وتضم عاريات البذور كلا من الاشكال الحية والمنقرضة، وكلها متباينة السبورات ولها بذور عارية.

2 ـ تعتبر السرخسيات البذرية من الفصائل المنقرضة، وكذلك الحال بالنسبة للبينيتيتالات وكذلك الكوردايتالات. وكانت البينيتيتالات تحمل تراكيب تكاثرية تمثل الازهار ظاهريا، اما الكوردايتالات فكانت أشجارا تشبه المخروطيات وكانت تحمل أعضاءها التكاثرية فى تراكيب تشبه ذيل القط. كما كانت الاكياس اللقاحية والبويضات محمولة فى السرخسيات البذرية على أوراقها مباشرة.

3 ـ تتألف المجاميع الحية من عاريات البذور من السايكاسيات والجنكوالات والمخـروطيات والغنيتـالات Gnetales (لم تذكر فى هذا الكتاب من قبل). أما السايكاسيات فتعتبر مجموعة صغيرة من نباتات تشبه النخيل مقصورة على المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية، وتعاصرت زمنيا مع البينيتيتالات فى الدهر الوسيط. وتتولد أكياس اللقاح والبويضات فى العادة فى مخاريط.لم يبق من الجينكوالات العريقة الان الا نوع واحد هو شجرة المعبد (كزبرة البئر) Ginkgo biloba وهذه الشجرة متساقطة الأوراق وأوراقها عريضة، أما بذورها فتشبه الحسلة drupelike.

4 ـ تنتج انابيب اللقاح فى كل عاريات البذور الحية، كما تنتج السبرمات السابحة فى السيكاسيات والجينكوالات. قد تكون السبرمات المتحركة قد تكونت ايضا فى الفصائل المنقرضة من عاريات البذور.

5 ـ تعتبر المخروطيات أهم فصيلة حية من عاريات البذور. وكلها من النباتات الخشبية، وغالبيتها دائمة الخضرة. للكثير منها أهمية اقتصادية كبرى بوصفها مصدرا لأخشاب البناء وصناعة الورق وغيرها من الاغراض.

6 ـ تنتج المخروطيات نوعين من المخاريط نعنى بها مخاريط اللقاح ومخاريط البذور. وغالبية المخروطيات أحادية المسكن. ولاتعمر مخاريط اللقاح طويلا، بينما تكون مخاريط الحبوب خشبية فى العادة، ويكون حرشف مخروط البويضة (أى البذرة) شديد الاختزال فى تركيب معقد. كما أنه يعتبر فرعا جانبيا قصيرا وكثير التحور ويقع فى إبط القنابة، ويعتبر ايضا شبيها بمخروط اللقاح الاحادى.

سمات هامة فى دورة حياة الصنوبر: ***Important Features of the Pine Life Cycle***.

7 ـ تنتج كل خلية أم السبور الصغير فى أعقاب الانقسام الاختزالى أربعة سبورات صغيرة. وتنبت هذه السبورات الصغرى داخل الحافظة السبورية الصغرى ومن ثم تتكون حبوب اللقاح التى تحوى كل واحدة منها طورا مشيجيا ذكريا متطورا جزئيا. ويتألف الاخير من خليتين مضمحلتين للثالوس الأولى الذكرى، وكذلك خلية مولدة واخرى أنبوبية.

8 ـ تحمل الرياح حبوب اللقاح وتوصلها الى المخروط البويضى حيث تنبت على سطح حافظة السبورات الكبرى. وتخترق أنبوبة اللقاح نسيج حافظة السبورات الكبرى ويتوقف نموها. ومع حلول الربيع التالى يستأنف النمو ويقع الإخصاب بعد مرور مايقارب العام من التلقيح.

9 ـ تنتج الخلية الأم للسبوز الكبير رباعية تتألف من أربعة سبورات كبرى مرتبة فى صف محورى داخل حافظة السبورات الكبرى. تلك التى يغطيها غلاف بويضى ويضمحل ثلاثة من السبورات الكبرى بينما ينبت الرابع وينتج الطور المشيجى الأنثوى الذى يحمل الارشيجونات والبيضات.

10 ـ أثناء فترة الاخصاب يتألف الطور المشيجى الذكرى من خليتين للثالوس الاولى الذكرى ونواة الانبوبة وخلية عقيمة وسبرمين. تخترق أنبوبة اللقاح عنق الارشيجونة وتفرغ فى البيضة محتوى الطور المشيجى فيما عدا خليتى الثالوس الأولى. ويندمج واحد من السبرمات بالبيضة، أما الأنوية الأخرى فتضمحل.

11 ـ ينقسم الزيجوت مكونا الجنين الأولى. وتنشىء الخلايا القمية للجنين الأولى أربعة أجنة تموت منها ثلاثة فيما بعد.

12 ـ يتشابك موسمان للنمو بين التلقيح ونضوج البذرة. ففى الموسم الاول ينبت اللقاح ويبدأ الطور المشيجى الأنثوى تطوره ومن ثم يزداد حجم المخروط البويضى، وفى الموسم الثانى ينضج الطور المشيجى الأنثوى ويقع الإخصاب وينمو المخروط البذرى حتى حجمه الكامل وتنضج البذرة.

النباتات البذرية : مغطاة البذور

The Seed Plants : Angiosperms


28

النباتات البذرية : مغطاة البذور

The Seed Plants : Angiosperms

تعتبر النباتات مغطاة البذور هى السائدة فى الحياة النباتية فى الدهر الجيولوجى الذى نعيشه الآن . كما انها تعتبر نتاجا لمسار طويل من تطورات النشؤ والارتقاء تلك التى توجها عضو تكاثرى عالى التخصص هو الزهرة .

كما ان النباتات الزهرية تتبوأ مكان الريادة بين عناصر المناظر الطبيعية المحيطة بنا فى العصر الحالى فيما عدا مساحات الغابات حيث تكون السيادة للمخروطيات ولا يعنى حقيقة تبوؤ مغطاة البذور لمرتبة السيادة ان تطورها قد توقف عند نهاية الطريق . فهناك مسارات عديدة تؤدى كلها الى الكشف عن شواهد مستمرة فى تغيرها ، ومن المحتمل انها ستبقى على اهميتها . هناك عدد من عائلات النباتات مغطاة البذور قد توسع كثيرا فى الآونة الاخيرة ويحتمل ان تظل هذه العائلات تكتسب اهمية اعظم بين العناصر المكونة لنباتات الارض عبر القرون المقبلة .

يتضمن القسمان الفرعيان الكبيران لمغطاة البذور اى النباتات ذوات الفلقتين dicotyledons وذوات الفلقة الواحدة monocotyledons ما يقارب من 300 عائلة تضم اكثر من 250 الف نوع .ويمكن إعتبار النجيليات grasses انجح هذه العائلات واهمها ، اذ تضم 7500 نوع . لقد استعمرت النجيليات مساحات شاسعة من سطح الارض حيث لا تتمكن اغلب انواع النباتات الخشبية من النمو بسبب ظروف التربة او المناخ . تكمن اهمية النجيليات فى انها تشكل المصدر الرئيسى لغذاء الانسان بصورة مباشرة او غير مباشرة .

ومن العوامل العديدة التى ساعدت على نجاح النباتات مغطاة البذور (1) مقدرتها على البقاء والتكاثر فى غالبية البيئات المحيطة (2) انتاجها للزهور والثمار والبذور . فعلى الرغم من ان المخروطيات وكذلك مجاميع اخرى من النباتات الوعائية تعتبر واسعة الانتشار فليس من بينها ما يتمتع بما تتمتع به مغطاة البذور من قدرة على الازدهار فى بيئات ومواطن شديدة التباين . ذلك ان مغطاة البذور تنمو فى كل انواع الترب وفى ظروف متباينة كثيرا فى درجة الحرارة وكميات الامطار فى الصحارى والمناطق القطبية على السواء ، فى البرارى والمروج والمستنقعات فى الماء والهواء على حد سواء بعلاقات تكافلية مع الفطريات او بعلاقة تطفلية ،كما انها تشمل الاشجار والشجيرات والمتسلقات والعشبيات . ويمكن ان تكون حولية او معمرة او عصارية او مشتملة على اعضاء خازنة تحت التربة . وبمقارنة مغطاة البذور بعارياتها

او غيرها من النباتات الوعائية نجد ان الاولى تبرز مقدرات اكبر فى التباين والمرونة وتظهر اكبر مقدرة على البقاء فى ظل الظروف البيئية الجديدة او المتغيرة على السواء .

ولاشك فى ان الزهرة والثمرة والبذرة هى تراكيب تتمتع باهمية من زاوية ازدهار النباتات الزهرية . فالزهرة ذلك التركيب الذى تنفرد به مغطاة البذور تنتج اللقاح وكذلك البويضات التى تنمو مكونة البذور . يتكاثر العديد من النباتات الزهرية مثل النجيليات اما بالتلقيح الذاتى self – Pollinated أو بالرياح Wind – Pollinated ولكن هناك الآلاف من الانواع الاخرى حيث يتم فيها التلقيح بمساعدة الحشرات . يضمن تكوين الاندوسبرم (السويداء) اثناء وقت الاخصاب امداد الجنين بالغذاء وكذلك البادرة الناتجة اثناء الانبات . ينضج العديد من انواع مغطاة البذور بسرعة وتتمتع بقدرة تكاثرية عالية وذلك بانتاجها عددا كبيرا من البذور . وعلى الرغم من ان العدد الذى تنتجه نباتات مغطاة البذور ربما يكون جزءاً ضئيلا بالنسبة لعدد السبورات التى ينتجها احد الفطريات او السرخسيات الا ان تركيب مغطاة البذور وامدادها بالغذاء يضمنان تفوقها من حيث الكفاءة،فمهما كانت الظروف فيمكن ان تنتج عشر بذور عددا من النباتات الجديدة يفوق ما ينتجه مليون سبور . يتيح العديد من تحورات البذور والثمار الفرصة امام انتشارها بسرعة وكفاءة على مسافات بعيدة وذلك بالاستفادة بعوامل طبيعية مساعدة . .

اهمية مغطاة البذور Significance of Angiosperms

على الرغم من ان الانسان يتحصل من المخروطيات على مواد مثل الخشب والورق وزيت التربنتين ، الا انه يجد بين مغطاة البذور نباتات ذات منافع اقتصادية،اذ تمده بالغذاء والالياف والزيوت والعقاقير الطبية . فكل النباتات الغذائية الهامة من مغطاة البذور . وعلى الرغم من التوسع فى الانتفاع بالنباتات الخشبية والعشبية المعمرة الا ان النباتات العشبية الحولية تشكل فى مجموعها القاعدة التى تقوم عليها الزراعة الحديثة . فاكثر نباتاتنا الحولية نفعا قد تمت زراعتها على مدى آلاف السنين . وتضم الاخيرة الحبوبيات (الغلال) مثل الذرة والقمح والشيلم rye والذرة البيضاء sorghum والشوفان والشعير والدخن millet والرز (شكل 28 ـ 1) وكذلك البقوليات legumes مثل فول الصويا والعدس lentil والبازلاء والفول .

كان الانسان فى عصر ممارسته للصيد معتمدا كليا على النباتات الزهرية بصورة غير مباشرة وذلك من خلال وسيط هو الحيوانات التى تغذت على الاوراق . ولكن لم يكن الانسان القديم ليعيش على اللحوم وحدها . اذ كان يستهلك الثمار البرية على الرغم من احترافه للصيد،ومع تعاقب الزمن تعلم الانسان جمع بذور الحوليات البرية ومن ثم تعلم زراعتها وحصادها،وهجر الانسان فى بعض بقاع الارض نمط حياة الترحال واصبح معتمدا على نتاج حصاده . وهكذا بدأت الزراعة (منذ حوالى 10,000 سنة مضت)، بل وبدأ معها المجتمع الحديث. معظم الحوليات التى استخدمها الانسان غذاء قد جرت زراعتها فى عصر ما قبل التاريخ ، ويصعب علينا تقصى اصلها . وما نعرفه عنها هو ان بذور هذه النباتات العشبية الحولية تشكل مخزونا غذائيا عظيما بالنسبة للانسان وحيواناته الاليفة على حد سواء . ولقد قامت الحضارات الهامة على قاعدة اساسها زراعة المحاصيل الحولية . ولقد اتاح تطور بذور مغطاة البذور الفرصة امام نشوء امم عظمى وكذلك امام التمركز البشرى الكبير .

لم تكتف النباتات الزهرية باداء دور حاسم فى تطور المجتمع البشرى بل انها ايضا قد اتاحت الفرصة امام ارتقاء انواع عصرية من الطيور والحشرات والحيوانات من ذوات الدم الحار . وعلى الرغم من ان مغطاة البذور قد سادت العصر الطباشيرى الادنى اى منذ 130 مليون سنة مضت الا انها لم تتبوأ مرتبة السيادة فى الحياة النباتية الا منذ العصر الطباشيرى الاعلى والعصر الثلاثى حيث انتشرت كاسية سطح الارض . عاشت الثدييات المبكرة فى العصر الترياسى اى منذ 200 مليون سنة تقريبا الا انها كانت صغيرة وغير بارزة ومقصورة فى الغالب على بيئات تخصصية، وعلى التغذى على الحشرات والديدان وبيض الزواحف وكذلك الكائنات الحيوانية الصغرى . كشف العصران الجوراسى



شكل (28 ـ 1) مغطاة البذور . الرز والشاى فى اليابان

والطباشيرى عن تحول الثدييات تدريجيا وببطء الى اكتساب صفة التنوع . ومع ذلك كان ارتقاء الثدييات وتزايد سرعة انتشارها اثناء العصر الثلاثى اى منذ 10 ـ 60 مليون سنة وقد سبق هذا حدوث تطور مغطاة البذور معتمدا من عدة اوجه على تلك النباتات . لقد ارتبط ارتقاء الحيوانات آكلة العشب بنوع خاص بانتشار النجيليات والبقوليات وغيرهما من الاعشاب كى تعم الارض فى اواسط العصر الثلاثى وعلى الرغم من معرفة وجود الطيور منذ عهد بعيد يصل الى العصر الجيولوجى الجوراسى ، الا ان ارتقاء الانواع المعاصرة قد تزامن مع ظهور مغطاة البذور . معظم الطيور المعاصرة تتغذى على ثمار او بذور او براعم النباتات الزهرية على حد سواء او على حشرات تتغذى بدورها على مغطاة البذور . كما شجع الانتشار السريع لمغطاة البذور ايضا على ارتقاء العديد من فصائل الحشرات . إن الاعتماد المتبادل بين الزهور والحشرات (بل وبعض الطيور) والذى يشكل احدى اعاجيب عالم الاحياء،قد اكتمل رسوخا.من العسير للغاية تصور انواع النباتات والحياة الحيوانية التى كان من الممكن ظهورها وتوطنها على كرتنا الارضية اليوم اذا لم يكن قد قدر وقوع مسلسلات الاحداث الهامة التى ادت الى ظهور مغطاة البذور بازهارها وثمارها وبذورها .

السمات المميزة لمغطاة البذور Distinguishing Features of Angiosperms

تناول عدد من فصول هذا الكتاب بالعناية التامة أو الجزئية تراكيب وطرق التكاثر فى نباتات مغطاة البذور،ولقد اكتسبت هذه المجموعة من النباتات اهمية بحيث يكون من المفيد هنا تلخيص هذه الجوانب،وفى نفس الوقت يكون مفيدا

ايضا عقد مقارنة مختصرة بين مغطاة البذور وبين المجموعة الكبرى الاخرى من النباتات البذرية الحية - ونقصد المخروطيات . فعلى الرغم من ان المخروطيات تحتل مكانة ادنى من النباتات الزهرية بالنسبة لحياة البشرية ونشاطاتها فان هاتين المجموعتين هما الاكثر فائدة للانسان من بين كل النباتات الوعائية . وافضل تلخيص لصفات مغطاة البذور يكمن فى اعتبار جانبين : طبيعة جسم النبات وتراكيب التكاثر والآليات الداخلة فيه .

تتابعت خطوات التطور فى المخروطيات باتجاه يخالف مسار تطور النباتات الزهرية . فكل المخروطيات خشبية معمرة ، وكذلك الحال بالنسبة للآلاف من انواع مغطاة البذور ، غير ان الآلاف العديد من الانواع الاخرى تكون من العشبيات المعمرة أو الحولية على حد سواء . كما ان المجموعة العظمى من نبات الفلقة الواحدة تكون عشبية على الأرجح . تكون مغطاة البذور تحت سطح التربة جذورا وتدية . وهو النمط السائد من الجذور فى المخروطيات بل إنها أيضا قد طورت لنفسها العديد من تحورات الجذر ذات النفع فى مجال تجمع الغذاء وكذلك فى التكاثر الخضرى . للعديد من مغطاة البذور سيقان ترابية أيضا ، حيث يتجمع فيها الغذاء أو تقوم بوظيفة التوالد الخضرى Vegetative Propagation . إن مثل هذه التحورات (وغيرها الكثير) الجارية على جسم النبات قد مكنت مغطاة البذور من احتلال عدد من المواطن لاتتمكن المخروطيات من التكيف معها . وكما سبق أن أشرنا فان الحوليات العشبية هى التى قد تمكنت فى الماضى من الاستحواذ على اهتمام الإنسان بوصفها مصدرا مباشرا هاما لغذائه . ولاغرو ، فهذه النباتات قصيرة العمر تنتج بذورا خلال أشهر معدودات بعد استزراعها ويفسر ذلك السبب فى اختيار الحوليات أولا فى الزراعة .

تعمر أوراق المخروطيات عادة زمنا أطول من عمر أوراق مغطاة البذور ، إذ تبقى مرتبطة بالنبات لعامين أو أكثر ، وكان هذا سببا فى تسميتها باسمها الشائع دائمة الخضرة . يرتبط دوام الخضرة هذا باختزال حجم وسطح الأوراق التى تكون فى غالبيتها صغيرة وابرية الشكل أو شبه حرشفية . وعلى العكس من ذلك فإن أوراق النباتات الزهرية ، مثلها فى ذلك مثل سيقانها وجذورها ، تكتسب درجة عالية من التنوع والتكيف مع العديد من الظروف البيئية . فهى فى غالبيتها نحيفة ومفلطحة على الرغم من أنها تتفاوت كثيرا على وجه العموم فى شكلها من الأوراق الضيقة الطويلة للنجيليات إلى الأوراق البيضوية أو المستديرة .

وتتباين هذه الأوراق كثيرا من حيث أبعادها أيضا . ففى بعض النباتات المتخصصة بمواطن بعينها تكون الأوراق صغيرة لدرجة أنها لايتم التعرف عليها إلا بصعوبة بالغة . وعلى الجانب الآخر من تفاوت الأبعاد نجد أوراق الموز المزروع ، إذ يمكن أن تصل أبعاد نصل الورقة الى مايزيد عن أربعة امتار طولا والمتر الواحد عرضا . كما أن نصل الورقة لشجرة الرحالة Traveler's – Tree ، وهى من أقارب الموز قد يبلغ طوله إلى 6 ـ 7 أمتار أو يزيد وربما يصل قطر الأوراق الدائرية للزنبق الملكى المائى Royal Water Lily ، وموطنه غيانا والامازون ، إلى أكثر من مترين وربما تزيد الأبعاد المذكورة فى نباتات عشبية استوائية معمرة .

يكون خشب مغطاة البذور أكثر تخصصا وتعقيدا من نظيره فى المخروطيات . إذ يتألف خشب المخروطيات فى الاساس من خلايا شعاعية Ray Cells ومن قصيبات سميكة الجدران . يحتوى خشب مغطاة البذور مثل البلوط والقيقب والبتولا ، على تنوع أكبر فى الخلايا بما فى ذلك العناصر الوعائية الهامة غير الموجودة فى المخروطيات .

ورغما عن كل ماذكرنا تبقى الزهرة هى السمة المميزة لمغطاة البذور عن غيرها من المجاميع النباتية . ربما تكون الأزهار محمولة فى عناقيد أو فرادى ؛ وتتفاوت كثيرا فى عدد أجزائها ودرجة تعقيدها ؛ إلا أنها تدخل فى الأساس فى عملية التكاثر وينجم عن نشاطاتها انتاج الثمار والبذور .

ونجد أن تغليف البويضات بغطاء واق هو صفة تنفرد بها مغطاة البذور . فبويضة المخروطيات تفتقر الى هذا الغلاف ، إذ تولد عارية على سطح حراشف المخروط . ونجد أن القسم العلوى لمدقة Pistil مغطاة البذور من النوع المتحور مما يشكل ميسما Stigma يؤلف سطح استقبال Receptive Surface لحبوب اللقاح وموضع إنباتها . ينضج أحيانا المبيض مع غيره من أجزاء الزهرة مكونا الثمرة ، وهى عضو لايوجد إلا فى النباتات الزهرية .

على الرغم من ارتفاع درجة التخصص فى مغطاة البذور ، إلا أنها قد استبقت السبورات الصغرى والكبرى من بين غيرها من سمات الأسلاف . ينتج السبور الصغير حبة اللقاح Pollen Grain ، بينما ينتج عن السبور الكبير كيس الجنين Embryo Sac . يحتوى كيس الجنين هذا على الطور المشيجى الانثوى عالى الاختزال ، وتكون درجة اختزاله أكثر بكثير من تلك الظاهرة فى أى من المجاميع الأخرى للنباتات الوعائية بعد خوض عملية الاخصاب المزدوج Double Fertilization ، وهى عملية تنفرد بها مغطاة البذور أيضا ، يتكون الجنين والسويداء (الاندوسبرم) . وعلى العكس من ذلك يكون الطور المشيجى الأنثوى للمخروطيات نسيجا دائما ويكون الأخير غنيا بالمخزون الغذائى الذى تحتاجه البادرة أثناء الانبات . لايزال جيل الطور المشيجى للمخروطيات محتفظا بارشيجونات الاسلاف Ancestral Archegonia ، غير أن هذه التراكيب قد اختفت من بوصة مغطاة البذور .

تعتبر المقارنات التى عقدناها فى الفقرات السابقة عظيمة النفع من حيث كون المجموعتين المقارنتين تعتبران أهم النباتات البذرية الحية على الاطلاق . علينا أن ننبه الى عدم جواز الاعتقاد بأن مغطاة البذور قد نشأت عن المخروطيات والنفى مؤكد إذ لايمكن العثور على شىء مثل هذا ليس بين النباتات الحية الآن ولابين السجلات الحفرية أيضا .

تصنيف مغطاة البذور Classification of Angiosperms

تقسم مغطاة البذور الى رتبتين فرعيتين : ذوات الفلقتين ؛ وذوات الفلقة الواحدة . وذوات الفلقتين هى المجموعة الأكبر إذ يصل تعدادها الى حوالى 200 ألف نوع ، جمعت فيما يزيد عن 250 عائلة . يعتقد الكثير من علماء النبات أن ذوات الفلقتين هى الأطول عمرا من بين المجموعتين ، بينما تفرعت ذوات الفلقة الواحدة عن ذوات الفلقتين فى مرحلة مبكرة من النشؤ والارتقاء ، عندما بدأت ذوات الفلقتين الأكثر بدائية ، ويحتمل أن تكون هذه الأشكال الخشبية وحدها تخطو أولى خطوات الارتقاء .

يقوم تصنيف مغطاة البذور فى رتبتين فرعيتين ، ذوات الفلقة الواحدة والفلقتين ، على أساس عدة اختلافات ، سواء الخضرية أو من حيث بناء وتركيب الزهرة والبذرة . ولقد عددنا صفات المجموعتين فى الفصل ـ 18 ، ولايحتاج الأمر الى تكرارها . وتنقسم كل رتبة فرعية الى فصائل ، تتألف الواحدة منها من عائلة أو أكثر . وتنقسم العائلة بدورها فتحوى أجناسا تجمعها العديد من السمات الظاهرية ، خصوصا مايعود منها للزهرة . ويفترض أن تكون هذه الأجناس قد نشأت فى معظم العائلات على أقل تقدير من اسلاف واحدة وبذا تقوى صلات القربى بينها . ويكون موضع المبيض علويا أو سفليا Superior or Inferior Ovary ، وعدد أجزاء الزهرة وترتيبها ونوع التمشيم Type Of Placentaion ، واندماج عدد من مكونات الحلقة الواحدة أو الاندماج بين مكونات حلقات مختلفة ، أو عدم وجود اندماج بالمرة ، ونمط تجمع الزهرات فى عناقيد على فرع مزهر ، أو تجمعها فى نورات Inflorescence وكذلك تركيب البذرة والثمرة ـ تكون كلها من بين الصفات المستخدمة فى تصنيف هذه النباتات الى عائلات . وتختلف العائلات كثيرا من حيث تعدداها ؛ فهناك عدد منها يتألف من جنس واحد ، بينما تحوى عائلات أخرى مايزيد عن 100 جنس . ولقد انتفع بالعائلة عند تصنيف مغطاة البذور أكثر من الانتفاع بالفصيلة . كان إسهام عالم النبات الفرنسى دى جوسيو A.L.de Jussieu ، كبيرا فى تصنيف مغطاة البذور الى عائلات ، عندما قام فى عام 1789 بتسمية ووصف مايقارب المائة عائلة ، ولايزال معترفا بأغلبها حتى الآن . جرى التوسع فيما بعد فى هذه المجاميع بناء على أبحاث المصنفين ، إلى أن وصل عدد العائلات الآن إلى حوالى 300 عائلة .

تقودنا شواهد العلاقات الرابطة فى النباتات الزهرية ، كما هى الحال فى الكائنات الحية الأخرى ، تلك العلاقات التى يكشف عنها الكثير من التشابه فى التركيب ، الى القيام بمحاولة ترتيب الفصائل والعائلات وفق تصنيف قائم على تطور السبور Phylogenetic Classification ، بما يشبه شجرة الأنساب . ولقد اقترح عدد من هذه المنظومات ، غير أنها لم تكن مرضية جميعها من بعض الجوانب على أقل تقدير لذا لم يفز أى منها بالقبول من الجميع . وعلى الرغم من ذلك يمكن تقسيم العائلات وغيرها من المجموعات الى بدائية نسبيا ومتقدمة نسبيا ، على أساس تركيب الزهرة التى تستعرض ربما أكثر من غيرها من اجزاء جسم النبات كشواهد على حدوث

تغيرات تطورية عظمى . يمكن الكشف بصورة جلية عن طبيعة مثل هذه التغيرات لدى عقد المقارنات مع زهرة بدائية . ولم يتم العثور على زهرة اكثر بدائية من الزهور الكائنة حتى فى السجلات الحفرية ؛ ويعتقد أن هذه الأزهار موجودة الآن فى فصيلة الرانالات Ranales ، تلك الفصيلة التى تحوى عددا من العائلات موزعة أساسا فى المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية فى نصفى الكرة الأرضية الشمالى والجنوبى ، كما أن لها نظائر فى المناطق المعتدلة أيضا . أغلب هذه الفصيلة تكون أشجارا او شجيرات ، إلا انها تحوى ايضا بعض العشبيات. من امثلة العائلات الخشبية نجد المجنوليا magnolia والسفرجل الهندى – custard apple، ومن العائلات العشبية هناك عائلة الحوذانيات (قدم الغراب) crowfoot، التى تضم نباتات الحوذان buttercups وزنابق الماء water lilies. هناك اتفاق عام على أن عائلات الرانالات خصوصا الخشبية منها كان يجب أن توضع عند قاعدة أى منظومة سلالية بسبب أنها قد استبقت فى واحد او اكثر من اعضائها او اجزائها، السمات التى تعتبر مؤشرا على سمات الأسلاف ونعنى بها الأحوال البدائية للنباتات الزهرية.

وتقودنا دراسات تطور النباتات الى استخلاص استنتاج مفاده أن النباتات المعاصرة ذات الأزهار البدائية تتمتع بالصفات التالية: تحتوى على غلاف زهرى perianth، تكون ثنائية الجنس bisexual ومنتظمة regular، مع وجود العديد من الكربلات carpela والأسدية stamens، اما أجزاء الزهرة فتكون بارزة يتميز الواحد منها عن الآخر، أى أنها تكون غير مندمجة. أضف إلى ذلك أن الكربلات والأسدية وأحيانا أجزاء الغلاف الزهرى ايضا تكون كلها مرتبة حلزونيا بدلا من ترتيبها حلقيا. وعلى الرغم من أن نباتات المجنوليا والحوذان والعائلات المتقاربة تحوى عددا من مثل هذه الصفات البدائية اكبر من غيرها من مجاميع العائلات الاخرى فليس بالضرورة أن تتبع مغطاة البذور الاكثر بدائية. التى عاشت فى أى وقت مضى، وربما يمكن اعتبارها من البقايا الباقية من نباتات احتفظت بالكثير من السمات البدائية للنباتات الزهرية العريقة. ولايمكن اعتبار أى من النباتات الموجودة الآن حتى ولو تمتعت بصفات بدائية، أنها اسلافا للنباتات الزهرية الاخرى، إذ أنها قد استبقت بعض سمات الاسلاف ليس إلا، تلك السمات التى زودتنا بسلسلة من الشكوك بسبب غياب الشواهد الجيولوجية الكافية للاستدلال على مجمل التاريخ التطورى لمغطاة البذور.

وتزودنا أزهار مختلف عائلات مغطاة البذور بفيض من الادلة على وقوع تحورات على نوع بدائى. ومن المعترف به عموما أن النشوء والارتقاء قد اتجها من حالة بسيطة نسبيا الى اخرى اكثر تعقيدا. ويظهر ذلك بجلاء من خلال العديد من التحورات الملازمة للتلقيح الخلطى cross polination عبر الحشرات. وكما سبق أن اشرنا (الفصل ـ 18)، فإن التطور قد سار مع ذلك عبر الاختزال مماقادنا الى التبسيط اكثر من التعقيد. ويظهر ذلك بجلاء خاص فى تحورات فى التركيب الزهرى مثل اختفاء الأسدية أو المدقات وذلك فى الازهار أحادية الجنس واختفاء الأوراق التويجية petals واختزال عدد الأسدية أو الكربلات وتقليل عدد البويضات. وتظهر اتجاهات التطور الاخرى فى الاندماج وكذلك فى تغير التماثل symmetry وفيما يلى نلخص أبرز اتجاهات التطور الزهرى.

1 ـ من الترتيب الحلزونى الى الحلقى بالنسبة لأجزاء الزهرة. ولقد نشأ الترتيب الحلقى من الحلزونى عن طريق تقصير محور الزهرة مما ادى الى تقارب أجزائها من بعضها

2 ـ من الأعداد الكبيرة لاجزاء الزهرة الى أعداد أقل. فامتلاك الزهرة للعديد من الأسدية يعتبر حالة أكثر بدائية من حالة الاعداد الاقل، كما أن الزهرة التى تملك حلقتين من الاسدية تعتبر اكثر بدائية من تلك التى لها حلقة واحدة. ولقد سبق تعدد الكربلات (المدقات البسيطة) قلة عددها.

3 ـ من الاجزاء المنفصلة الى المتحدة. ومن هذا المنطلق تعتبر الاوراق الكاسية أو التويجية المنفصلة اكثر بدائية من أجزاء الغلاف الزهرى الملتحمة، كما سبقت الكربلات المتفارقة، الاخرى المندمجة فى مدقة مركبة. وتكون الأسدية ملتحمة فى بعض العائلات بواسطة اندماج اشرطتها او بواسطة اندماج متوكها anthers.

4 ـ من المبيض العلوى الى السفلى.

5 ـ من الأزهار ثنائية الجنس الى احاديته.

6 ـ من الازهار المنتظمة الى غير المنتظمة.

7 ـ من وجود كل من حلقتى الغلاف الزهرى الى غياب

الاوراق التويجية، أو غياب الغلاف الزهرى بكامله او وجوده بصورة شديدة الاختزال.

يقوم التصنيف السلالى للنباتات الزهرية على أساس العلاقة الرابطة لانحدار الاصل، ويتضمن أكبر قدر ممكن من الصفات. لقد اعترف الآن بأن هناك سمات اخرى بجانب صفات الزهرة ـ مثل تركيب اللقاح وشكل الكروموسوم وعدده، والمركبات العضوية وكذلك التشريح الداخلى ـ ربما تكون هامة لدى الكشف عن العلاقات الوراثية. ويفترض بطبيعة الحال أن تكون مثل هذه العائلات شديدة القربى عندما تحوى أكبر قدر من السمات المشتركة، وعلى العكس تكون العائلات ذات العدد الاقل من السمات المشتركة اكثر تباعدا عن بعضها.

وكما سبق أن أشرنا فى الفصل ـ 18، علينا استبقاء احتمال وقوع تطورات تقاربية convergent evolution لدى محاولة تفسير العلاقات التطورية. فعلى سبيل المثال نجد أن المبيض السفلى، والتحام الاوراق التويجية أو غيرها من اعضاء الزهرة، وأحادية التناظر zygomorphy وكذلك اختزال عدد الاسدية أو الكربلات او اختفاؤها، قد اتخذت العديد من مسارات الارتقاء. فعلى الرغم من احادية تناظر التويج corolla فى كل من الاركيدات orchids ونباتات حنك السبع snapdragons، إلا أن العائلتين ضعيفتا القربى. وبالمثل نجد ان عباد الشمس sunflower والجزر الابيض parsnip لاتربطهما صلة على الرغم من أنهما يحويان مبيضا سفليا، وكذلك الحال بالنسبة لزهرة الربيع primrose التى لها أوراق تويجية ملتحمة فى أنبوبة التويج corolla tube، التى لاتربطها صلة بزهر العسل (سلطان الجبل) honey suckles. وعلى الرغم من ظهور التقارب وغيره من العوامل المعقدة، يعتقد أن الكثير من عائلات النباتات الزهرية مترابطة بعلاقات وثيقة وأن هذه العائلات انحدرت بالضرورة من أصل واحد أكثر بدائية.

بعض عائلات ذوات الفلقتين Some Families of Dicotyledons

تتعرض الصفحات التالية وباختصار لعدد من عائلات ذوات الفلقتين، ويستهدف المسح المحدود لهذه العائلات محاولة تركيز الانتباه على مجاميع بعينها، لما لها من أهمية سواء أكانت نباتية أم ـ اقتصادية. كثيرا ما اشتقت اسماء العائلات سواء الشائعة ام العلمية من اسم أشهر جنس فيها. علينا أن نذكر ان هناك الكثير من المراجع والفهارس التى تعطى التفاصيل الهامة عن العائلات التى سيرد ذكرها بايجاز أو تلك التى لم نذكرها من ذوات الفلقتين.

عائلة المجنوليا Magnolia Family (Magnoliaceae)

كما سبق أن أشرنا تعتبر عائلة المجنوليا بدائية نسبيا. وأنواعها التى تبلغ المائة او يزيد ضمن عشرة أجناس تنقسم بين الاشجار والشجيرات ولها أزهار كبيرة جذابة فى العادة لذا كثيرا مايستغل عدد منها كأشجار زينة. اما أسديتها وكربلاتها ومدقاتها البسيطة، فتكون فى العادة كثيرة العدد وحلزونية الترتيب حول محور مستطيل (التخت receptacle). العديد من أنواع المجنوليا. وكذلك شجرة الزنبق tulip tree (Liriodendron) تستوطن الولايات المتحدة الشرقية والجنوبية الشرقية. أما العائلة ككل فيتحدد

شكل (28 ـ 2) زهرة شجرة الخزامى Tulip Tree (Liriodendron tulipifera) لاتظهر الصورة الأوراق الكأسية الثلاث المختفية تحت الأوراق التويجية.

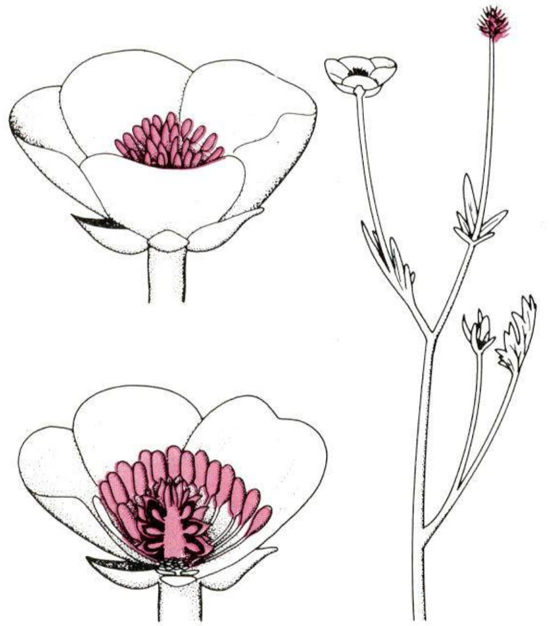


موطنها كثيرا فى منطقة شرق امريكا الشمالية ومنطقة شرق آسيا. اما قريب شجرة الزنبق (شكل 28ـ2) الحى الآن، فهو النوع الصينى وهو اكبر اشجار شرق امريكا وواحد من أكثرها قيمة. تؤكد البقايا الحفرية لكل من المجنوليا وشجرة الزنبق مع ذلك أن هذين الجنسين كانا واسعى الانتشار فى كل نصف الكرة الشمالى أثناء العصر الطباشيرى الاعلى. وأن العائلة كانت فى الاغلب من بين أقدم ذوات الفلقتين الحية الآن. وتشابه أفراد هذه العائلة السيكوية sequoias والجنكو ginkgo فى أنها الباقية على قيد الحياة من مجاميع اكبر عاشت فى الماضى وانقرض منها الكثير من انواع قطنت مساحات شاسعة من مواطنها الاولى فى نصف الكرة الشمالى .

عائلة الحوذانيات (أو قدم الغراب) Crowfoot Family (Ranunculaceae)

من بين أشهر أفراد هذه العائلة نجد الحوذان buttercup (شكل 28 ـ 3) ، ونبات قدم الغراب crowfoot (Ranunclulus) والجرغوس (ادريون الماء) march marigold والبقلة الكبدية hepaticas وشقائق النعمان anemones والاخيليا columbine والعائق larkspur وكزبرة الحبشة meadowrue وياسمين البر clematis . ويحوى عدد من الأنواع موادا تسبب تسمم الخراف والماشية أو الخيل إذا ـ استخدمت النباتات كِلأً . كما أن جذور نبات البيش أو خانق الذئب aconite or wolfsbane شديدة السمية ، وتستعمل مصدرا لمخدر الاكونيتين drug aconitine . كما أن أوراق هذا النبات تسبب التسمم اذا أكلت . إن أغلب الالف والخمسمائة نوع التى تضمها العائلة تكون من العشبيات المعمرة ، وتنتشر كثيرا فى المناطق المعتدلة والقطبية من نصف الكرة الشمالى . ويوجد عدد من الحوذانيات كنباتات مائية أو شبه مائية ، حيث تنمو فى البرك أو فى المناطق الرطبة . ويزرع عدد من أنواعها كنباتات للزينة .

أما أزهار عائلة الحوذانيات فتكون منتظمة نمطيا وثنائية الجنس . كما أن اسديتها وكربلاتها وكذلك الغلاف الزهرى فى بعض الأنواع ، تكون حلزونية الترتيب . وعادة ما تكون الاسدية كبيرة العدد وتكون الكربلات حرة فى العادة وعديدة

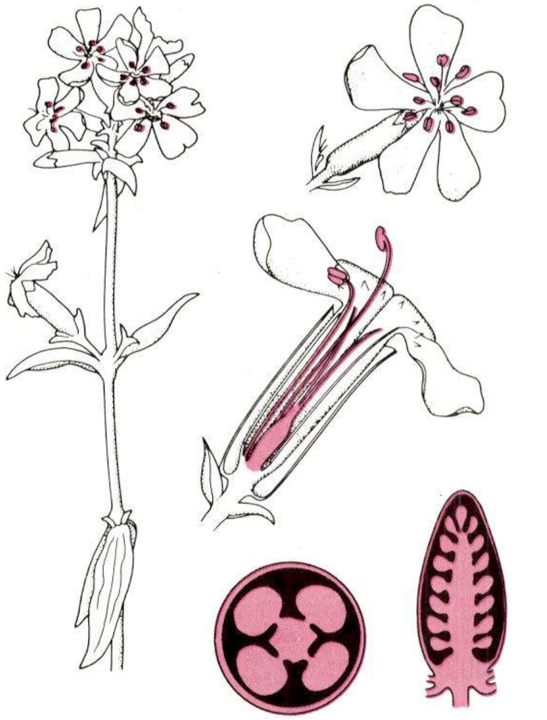


شكل (28 ـ 3) الحوذانيات Ranunculaceae
زهرة الحوذان الشائع Common Buttercup (Ranunculus acris)

ايضا . وتبرز بعض الأنواع صفات متقدمة (متطورة) مثل عدم انتظام الأزهار فى نباتى البيش والعائق (Delphinium) ، غير أن العائلة تعتبر برمتها على وجه العموم أكثر ذوات الفلقتين فى العشبيات بدائية .

العائلة القرنفلية Pink Family (Caryophyllaceae)

تحوى العائلة القرنفلية حوالى 1400 نوع ، يكون أغلبها من الأعشاب الحولية أو المعمرة وتنتشر كثيرا فى المناطق المعتدلة الشمالية . ومن الناحية الاقتصادية ، تكتسب اهميتها أساسا لما تحويه من عدد كبير من الحشائش وكذلك نباتات الزينة . وأشهر أفراد هذه العائلة هى النباتات القرنفلية (ومن بينها القرنفل carnation والقرنفل الملتحى Sweet william) وكذلك نبات الجصية baby 's breath ولكن هناك عدد كبير من الأنواع يزرع فى حدائق الزهور والحدائق الصخرية . ومن بين حشائش هذه العائلة نجد خرّم



شكل (28 ـ 4) العائلة القرنفلية (Caryophyllaceae)
زهرة الصابونية Soapwort (Saponaria Officinalis
يظهر المقطعان العرضي والطولي في المبيض في يمين أسفل الصورة ، طبيعة اتصال البيضات .

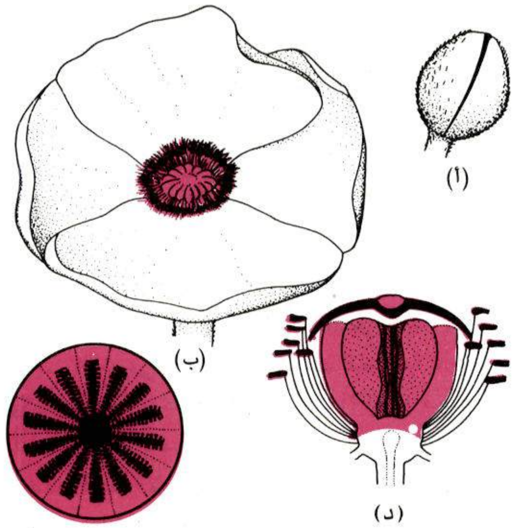
الحنطة corncockle وعشب الطير chickweed وأشكالا أخرى تنمو في المراعي والمروج وحقول الحبوب . وتوجد مادة مرة المذاق تدعى السابونين saponin في بعض أنواع النباتات الصابونية soapworts . وتوجد هذه المادة في عصارة لزجة التي يمكن استخلاصها من جذور النبات . وإذا ما مزجت العصارة بالماء الحار فإنها تكون رغوة يمكن الاستعاضة بها عن الصابون .

وعادة ما تكون السيقان منتفخة عند العقد ، أما أوراق النبات فتكون متقابلة . تكون الأزهار (شكل 28 ـ 4) منتظمة وثنائية الجنس في العادة . ويوجد في العادة كل من الكأس والتويج ، حيث يحتوي كل منهما على أربعة أو خمسة أجزاء منفصلة ، ويتراوح عدد الأسدية بين 8 و 10 . أما المبيض المركب فيكون علويا . وهناك سمة مميزة لهذه العائلة تكمن في أن البويضات تكون متصلة بعمود مركزي ينشأ عن قاعدة المبيض . وتوجد هذه الحالة أيضا في زهرة الربيع إلا أن الأخيرة لا تكون أوراقها التويجية منفصلة بل ملتحمة مما يكون انبوبا تويجيا .

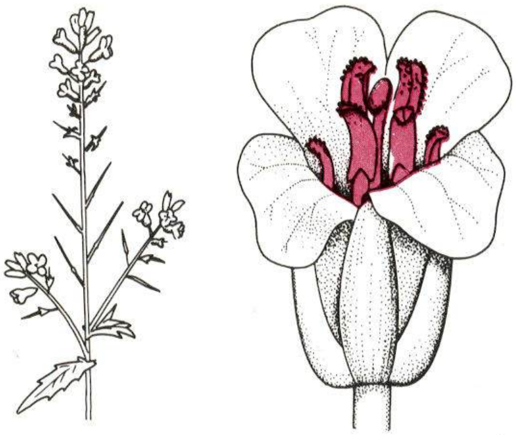
العائلة الخشخاشية Poppy Family (Papaveraceae)

تحوي العائلة الخشخاشية حوالي 250 نوعا ، وأغلبها عشبيات حولية أو ذات الحولين أو معمرة ، وموطنها نصف الكرة الشمالي . وهناك سمة بارزة في هذه العائلة على الرغم من أنها لا تنفرد بها ، تكمن في انتاجها لعصير لبني milky juice (Latex) . ويستخرج الافيون opium من عصير الثمرة غير الناضجة لنبات خشخاش الافيون opium poppy ، الذي تنتشر زراعته في الشرق . وتسقط الأوراق الكأسية sepals ، وعددها اثنتان أو ثلاث عند تفتح الزهرة ، أما الأوراق

شكل (28 ـ 5) زهرة وثمرة فتية لنبات خشخاش الشرق Oriental Poppy (Papaver Orientalis)
أ ـ برعم الزهرة تتساقط الأوراق الكأسية عند تفتح الزهرة .
ب ـ زهرة متفتحة .
جـ ـ قطاع عرضي في ثمرة فتية يوضح الكربلات والمشيمات في الميسم المركب .
د ـ قطاع طولي في الزهرة ويظهر المشيمات والميسم .



التويجية petals ، ويتراوح عددها بين 4 و 6 ـ عادة فتكون مغضنة فى البرعم . وعادة ما تكون الاسدية عديدة ومرتبة فى عدد من الحلقات . أما الكربلات فربما تكون عديدة ، وتتلاحم فى العادة مكونة مبيضا مركبا جدارى التمشيم parietal placentation . أما الثمرة فتكون كبسولية فى العادة وتنفلق من مسام pores ، بمصاريع شبه صمامية flaplike valves . ويكون الميسم فى نباتات الخشخاش نفسها -pop pies (Papaver) (شكل 28 ـ 5) ، متمددا مما يكون قرصا مفلطحا بارزا . وتحوى هذه النباتات أيضا مشيمات متضخمة كثيرا ماتتخذ شكل النتوءات ـ الخارجة عن الحواف الملتحمة للكربلات المتجاورة . وتمتد هذه المشيمات كتراكيب شبه شفوية flangelike وممتدة باتجاه مركز المبيض ، وتحمل العديد من البويضات ؛ وتحوى هذه العائلة الكثير من نباتات الزينة القيمة .



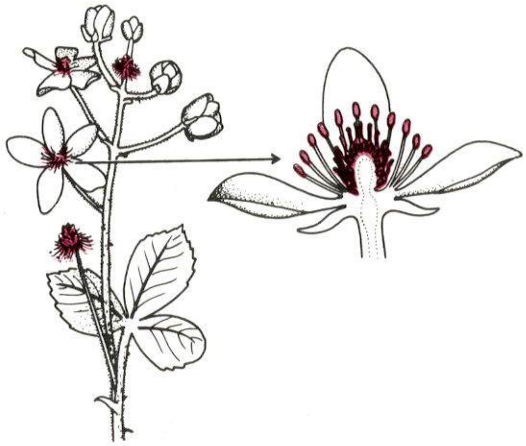
شكل (28 ـ 6) العائلة الصليبية (Cruciferae) .
زهرة الجرجير الأرضى Winter Cress (Barbarea Vulgaris)
الأزهار فى نورات عنقودية .

العائلة الصليبية Mustard Family (Cruciferae)

تنتشر هذه العائلة فى كل أرجاء المعمورة تقريبا وتتضمن حوالى 3000 نوع من العشبيات الحولية وذات الحولين والمعمرة أيضا . أما ازهارها فتكون ـ ماعدا الشواذ ـ منتظمة التركيب ومميزة لدرجة أنها تكشف عن العائلة بسهولة (شكل 28 ـ 6) . إذ يوجد فيها أربع من كل الأوراق الكأسية والتويجية وست أسدية تكون أربع منها أطول من الاخريين وتنمو فيها ثمرة صغيرة ذات نوع خاص شبه قرنى podlike fruit ، وتنشأ عن مدقة مركبة . تنفلق الثمرة فى العادة نتيجة تكوين مصراعين . من الأنواع السائدة من نباتات أزهار الحديقة الداخلة ضمن العائلة الصليبية نجد نبات الحرفة candytruf والأليوم الحلو sweet alyssum ونبات المنثور stock والمنثور الأصفر wallflower . كما نجد من بين خضروات هذه العائلة الكرنب cabbage والقرنبيط cauliflower والكرنب اللفتى (ابوركبة) kohlrabi والكرنب الهليونى broccoli وكرنب السلطة kale وكرنب بروكسل brussels sprouts وخردل الألمان (فجل الخيل) horse radish والكرسون المائى water cress والفجل radish واللفت الاصفر (الرتباج) rutabaga واللفت turnip . كما أن الكثير من الحشائش الضارة الشائعة تعتبر انواعا من العائلة الصليبية . ويزرع عدد من انواع الخردل (Brassica) للحصول على بذورها ، فهى مصدر الخردل الطبى وخردل الطعام . كما يوجد عشب صليبى يصل طوله إلى 60 سم ويعرف باسم الوسمة (النيلة) -dyer's woad (Isa tis tinctoria) وموطنه أوروبا ، وكان يستخدم لقرون طويلة مصدرا للصبغة الزرقاء التى تستخرج من أوراقه . لقد روى كيزر Caesar أن سكان بريتونيا القدامى كانوا يستخدمون هذا النبات فى تلوين اجسامهم باللون الأزرق .

العائلة الوردية Rose Family (Rosaceae)

تتألف هذه العائلة من حوالى 3000 نوع وتتبوأ مكانة مرموقة بين العائلات الأخرى لما تدخله على البشرية من نفع وبهجة . وتحوى هذه العائلة أعدادا هائلة التنوع من النباتات ذات ـ النفع للانسان سواء فى الزينة أو الطعام . فمن بين نباتات الزينة فى هذه العائلة نجد الاكليل spiraeas والكينا التسع ninebark والزعرور البرى hawthorns والسفرجل الزهرى flowering quince والغبيراء البرية mountain ash والورد roses واللوز الزهرى flowering almond والكرز الزهرى flowering cherries . ويزرع من هذه العائلة أعداد لا حصر لها ، منها الأعشاب والشجيرات



شكل (28 ـ 7) العائلة الوردية (Rosaceae) زهرة التوت الاسود Black Berry (Rubus Allegheniensis) . الأزهار فى نورات عنقودية .

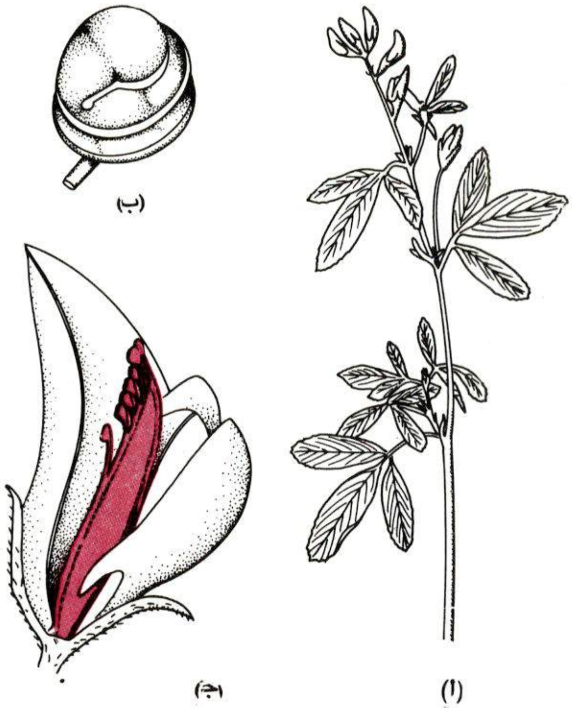
والأشجار سواء فى الحدائق أو الصوبات الزجاجية ، من أجل جمال شكلها العام أو الأوراق أو الأزهار . وتتضمن هذه العائلة أيضا أنواعا تعتبر من النباتات الهامة وتزرع للحصول على ثمارها ومنها التفاح apples والكمثرى pears والتوت الأسود blackberry والتوت الافرنجى (عنب برى) raspberry والشليك strawberry وكذلك النباتات ذات الثمار الحجرية مثل البرقوق plum والكرز cherry والخوخ peach والاجاس prune والمشمش apricot . ويزرع اللوز الحلو sweet almond لبذوره الطيبة .

والعائلة الوردية متباينة بحق ، وتختلف الزهرة فيها اختلافات بينة فى التركيب . فأوراقها الكأسية والتويجية تكون خماسية العدد ، أما أسديتها فكبيرة العدد فى العادة (شكل 28 ـ 7) . وترتبط الأوراق الكأسية والتويجية وكذلك الأسدية بحافة الأنبوبة الزهرية . كما يختلف عدد الكربلات من واحدة إلى عدة كربلات ، وتوجد حرة مكونة مدقة واحدة بسيطة أو عددا من المدقات . وربما تلتحم الكربلات وتكون مدقة مركبة . أما المبيض فربما يكون علويا أو سفليا كما هى الحال فى التفاح . والثمرة يمكن ان تكون جافة أو لحمية ، ويوجد من بينها ثمار اكينية (بهمة) achenes أو تفاحية pomes أو لوزية (حسلية) drupes وكذلك أنواع أخرى .

العائلة البقولية Pea Family (Leguminosae)

تعتبر العائلة البقولية واحدة من أكبر عائلات النباتات الزهرية ، إذ تحتوى على 500 جنس ، تنقسم بدورها الى أكثر من15000 نوع . ويكاد اسمها لا يوضح التباينات الواقعة فى المجموعة ، تلك التى تحوى الاعشاب والشجيرات والمتسلقات والاشجار وتنمو فى ظروف بيئية شديدة التباين ، فمن الفيافى شبه الصحراوية الى المراعى الى الغابات الواقعة فى المناطق المعتدلة ، وكذلك المناطق الاستوائية الرطبة . ولا يتفوق على عائلة البقوليات من حيث أهميتها للانسان إلا عائلة النجيليات . وتخفق بطبيعة الحال قائمة تضم بعض أهم هذه النباتات فى أن تعكس بالكامل أهمية هذه العائلة الاقتصادية . ومن بين نباتات العائلة التى تزرع لاستغلالها غذاء للحيوانات الاليفة نجد أنواع النفل Clovers والبازلاء الحقلية Fieldpeas والبرسيم الحجازى alfalfa والجلبان vetch والترمس lupines واليسبيديزا lespedeza . تتضمن أنواع البقوليات المستخدمة غذاء للانسان الكثير من أصناف البازلاء والفاصوليا وفول الصويا والفول السودانى وفاصولية ليما Lima beans . وتتضمن هذه العائلة نباتات زينة منها الحلوة (الوستارية) Wisteria والجنستا الاسكتلندية Scotch broom والبازلاء الحلوة Sweet peas ونبات الترمس ذو البراعم الحمراء redbuds والسنط acacias وكثير غيرها من النباتات الخشبية والعشبية .

ومن البقوليات أيضا نستخرج الزيوت والاصماغ والراتنجات والمستحضرات الطبية والعسل . كما أن السنط (الخرنوب الأسود) black locust ، هى شجرة البقول الرئيسية فى شمال امريكا من حيث أهمية خشبها ولكن هناك العديد من الانواع الاستوائية مثل الصندل الاحمر rosewoods والكوكوبولو cocobolo ، استخدمت منذ عهد قديم فى أعمال النجارة والاثاث . أما شجرة البقم logwood الامريكية الاستوائية فهى مصدر صبغة الهيماتوكسيلين hematoxylin المستخدمة الى حد ما فى الصناعة وعلى نطاق واسع فى تلوين أنسجة النبات والحيوان للفحص المجهرى . هناك مجموعة أخرى من الأشجار والشجيرات البقولية فى



شكل (28 ـ 8) العائلة البقولية (Leguminosae) .
البرسيم الحجازى (Alfalfa (Megicago sativa .
أ ـ جزء من مجموع خضرى يحمل زهرة .
ب ـ ثمرة حلزونية الترتيب .
جـ ـ الزهرة ، تتلاحم تسع اسدية مكونة انبوبة بخويطاتها تنفصل إحداها إلى حد ما .

امريكا الشمالية تضم السنط العسلى honey locust وشجـرة كينتـاكـى Kentucky coffee والمسكيت mesquite (Prisopit) والسرسيديوم paloverde (Cercidium) ، علينا أن نتذكر أن البقوليات تحتل مكانة فريدة فى الزراعة بسبب دورها فى تحسين خصوبة التربة . ومن مساوئها أن عددا منها يكون من الحشائش الضارة . وهناك عددا من البقوليات المعمرة وموطنها غرب وجنوب غرب أمريكا وتعرف باسم نبتة الجنون loco weed وتسبب تسمم الماشية والخيل والخراف عند أكلها لها .

تكون أوراق نباتات العائلة البقولية متبادلة ومركبة فى العادة. كما أن الثمرة تعتبر سمة مميزة لهذه العائلة ككل. حيث تكون الثمرة شبه قرنية podlike fruit وناشئة عن مدقة بسيطة . تنشق الثمرة نمطيا على طول جانبيها . كما يتباين تركيب الزهرة لدرجة ان البقوليات قد قسمت بناء على ذلك إلى ثلاث عائلات فرعية . وتتميز أكبر هذه العائلات الفرعية بنوع من الزهور يشابه زهرة بازلاء الحديقة garden pea أو البازلاء الحلوة sweet pea (شكل 12 ـ 11) . يمكن أن تكون الاسدية منفصلة أو متحدة عن طريق خويطاتها وبأشكال مختلفة .

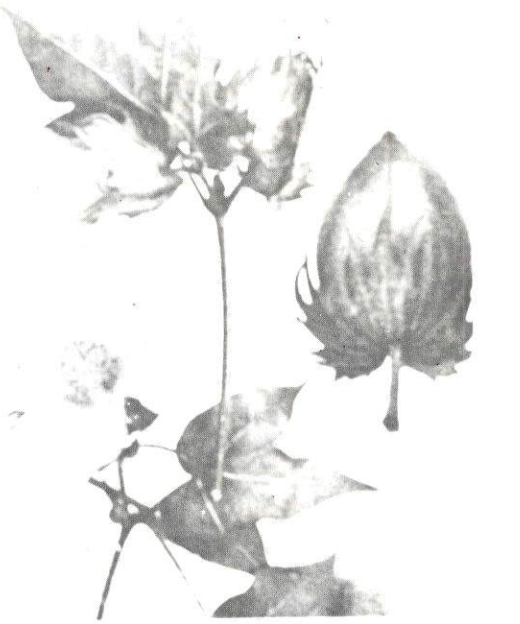
تعتبر زهرة البرسيم الحجازى شديدة التكيف لظروف التلقيح الخلطى بالنحل فأسديتها وميسمها موجودة تحت قوة شد ومغلفة داخل الزورق keel . عند دفع الزورق إلى الاسفل بواسطة النحلة يتحرر الميسم والاسدية متحركين الى أعلى (ويقال عن الزهرة إنها مفتوحة tripped). يستلم الميسم المكشوف اللقاح المحمول بواسطة النحلة من أزهار نباتات أخرى ، كما أن النحلة تقوم أيضا بحمل اللقاح من الازهار المفتوحة على شعر جسدها . والبرسيم الحجازى يكـون فى العادة متعـذر التلقيـح ذاتيـا . ' self incompatible .

العائلة الخبازية (Malvaceae) Mallow Family

تحوى هذه العائلة ما يقارب 1000 نوع ، وهى شديدةالانتشار فى كل من المناخ الاستوائى وشبه الاستوائى . وأزهارها تكون كبيرة فى العادة وملفتة للانظار ،



شكل (28 ـ 9) العائلة الخبازية (Malvaceae) .
زهرة خبيزة المسك (Musk Mallow (Malva moschata



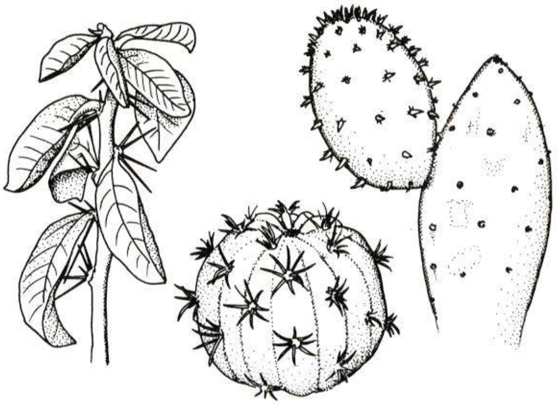
شكل (28 ـ 10) العائلة الخبازية (Malvaceae) نبات القطن ، فرع وزهرة ولوزة Boll (كبسولة) ناضجة وخضراء غير متفتحة .

وتحوى 5 أوراق كأسية ومثلها من الاوراق التويجية . كما أن اسديتها كبيرة العدد تتلاحم من خويطاتها مكونة أنبوبا يحيط بالمبيض العلوى (شكل 28 ـ 9) . وتحوى العائلة عددا من النباتات البرية ذات الازهار الجذابة ، كما تحتوى أيضا على بعض الحشائش البرية الضارة . ومن بين الاشكال المزروعة كنباتات للزينة نجد : الخبيزة الافرنجية hollyhock . والقيقب الزهرىflowering maple والخطمية rose of sharon وتستخدم كبسولات البامية okra or gumbo طعاما بعد طهيها . هناك عدد من أعضاء هذه العائلة تستغل الياف سيقانها فى أغراض اقتصادية هامة . فأنواع القطن cottons وهى كثيرة تعتبر أعلى نباتات العائلة قيمة وأهمية (شكل 28 ـ 10) . فشعر بذوره هو القطن التجارى . وأهم نوعين منه فى زراعة الولايات المتحدة هما قطن الابلاند الامريكى upland والقطن المصرى الامريكى American Egyptian Cotton (ويسمى أيضا قطن بيما pima) .

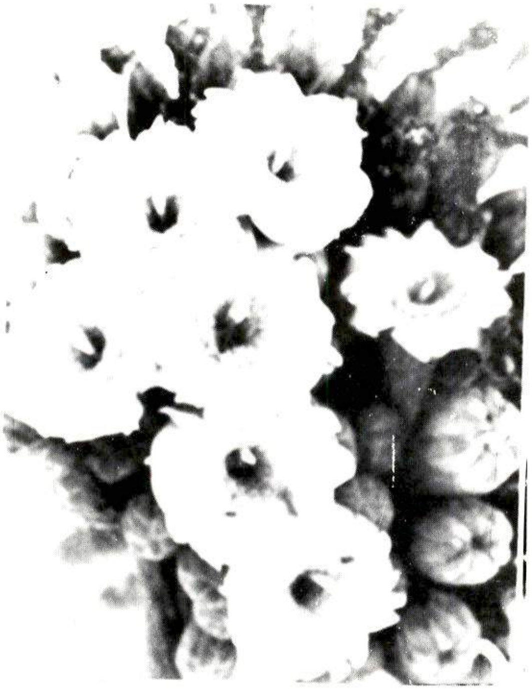
عائلة الصباريات (الشوكية) Cactus Family (Cactaceae)

تعتبر نباتات هذه العائلة التى تشمل أكثر من 1500 نوع ، من نباتات العالم الجديد فى الاساس . وعلى الرغم من أن بعض نباتات هذه العائلة يستوطن الصحارى الحارة ، إلا أن الكثير من أنواعها يعيش فى ظروف مناخية تنخفض فيها الحرارة تحت الصفر المئوى . وتنمو هذه النباتات فى برارى وسط أمريكا الشمالية وعلى ارتفاعات كبيرة من سطح البحر فى جبال انديز لامريكا الجنوبية . ويمكن العثور عليها شمالا وغربا حتى كولومبيا البريطانية وينتشر بعضها شرقا فى سكوتيا الجديدة Nova Scotia . لمعظم الصباريات سيقان لحمية سميكة تحمل أشواكا تعتبر من الاوراق المختزلة . وهذه السيقان الشاذة من حيث الشكل فى الغالب تختزن الماء وتقوم بالبناء الضوئى .

تصنف الصباريات فى ثلاث مجاميع او قبائل tribes . أما أعرق أنواعها وأكثرها بدائية فتتركز فى المناطق الاستوائية وتحمل أوراقا عريضة مفلطحة (شكل 28 ـ 11 الى اليسار) وتتشابه تلك الأوراق فى النباتات عريضة الاوراق أيضا . ولهذه النباتات سيقان تكون أقرب إلى اللحمية من الخشبية وتحمل أشواكا علاوة على الأوراق الحقيقية أما نباتات القبيلة الثانية والتى يمثلها التين الشوكى Prickly ـ pear cacti (opuntia) فتحمل علاوة على الاشواك أوراقا مختزلة صغيرة شبه مخرزية awl ـ shaped (شكل 28 ـ 11 فى الوسط) ، سرعان ما تسقط عن النبات . أما القبيلة الثالثة ، وهى الأكبر ، ويمثلها الصبار البرميل barrel cactus (Ferocactus) فتختفى الأوراق الحقيقية منها ولا يرى الا الاشواك (شكل 28 ـ 11 إلى اليمين) . ومع ذلك تكشف الدراسات المجهرية على بعض أشكالها عن حراشف بدائية موسمية rudimentary ephemeral scales فى موضع الاوراق ، وتخلو من الانسجة الوعائية ، ولا يزيد طولها عن حوالى 0.1 ملليمتر . وبهذا تكشف القبائل الثلاث فى العائلة عن مسلسل تطورى تعرضت له الورقة بالاختزال بدءا من تركيب الورقة الواضحة الى تركيب آخر يمكن التعرف عليه وفق الأسس المقارنة فقط .



شكل (28 ـ 11) العائلة الصبارية (Cactaceae) . نباتات الصبار توضح المراحل المتعددة الانتقالية من الأوراق العريضة المتمددة الى حالة وجود الاشواك (وهى اوراق متحورة) وحدها
(اليسار) ريباس باربادوس Barbados Gooseberry (Pereskia aculeata) وهو صبار ذو أوراق عريضة .
(اليمين) التين الشوكى (Opuntia) Prickly Pear ، توجد الأشواك جنبا الى جنب مع أوراق لحمية دقيقة لاتعيش طويلا .
(الوسط) الصبار البرميلى (Ferocactus) Barrel Cactus ، اختفت الأوراق الحقيقية ولم يظهر إلا الأشواك .



شكل (28 ـ 12) العائلة الصبارية (Cactaceae) . أزهار صبار ساجوارو العملاق Giant Cactus or Saguaro (Carnegiea gigantea) ، وموطنه الاريزونا .

يعرف عن صبار بيوت Peyote cactus (Lophophora william sii) ، وموطنه صحارى شمال ووسط المكسيك أنه مصدر لعقارات الهلوسة . يخلو النبات من الاشواك ويتكون من رأس قبية الشكل domelike head وجذر مستطيل يشبه الجزر . عندما يقطع تاج النبات ويجفف يكون على شكل القرص البنى الصلد ويعرف باسم mescal button . يستبقى جذر النبات فى التربة حيث يولد تيجانا جديدة ، يحتوى النبات على عدد من القلوانيات ، يكون الميسكالين mescaline أهمها . لقد استخدمت أنواع أخرى من الصباريات لاستخراج عقارات الهلوسة أيضا . ، إذ تحتوى أنواع معينة منها على قلوانيات تماثل أو تطابق مع ما يحويه صبار بيوت (Lophophora) منها .

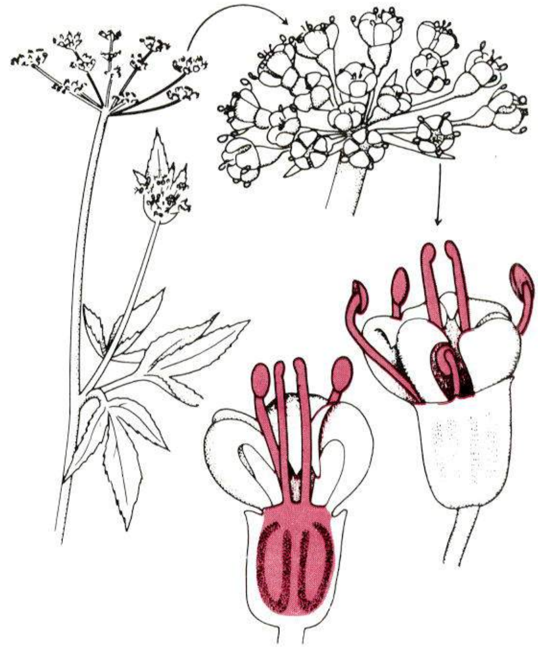
ربما تبلغ أزهار الصباريات الجذابة أحجاما كبيرة أحيانا . يبلغ قطرها 150 ملليمتر . تكون فترة التزهير blooming period لبعض الأنواع قصيرة للغاية إذ تتفتح الازهار ليوم واحد او تتفتح اثناء الليل وتنغلق نهارا ، كما هى الحال فى السيراس ليلى التزهير night –blooming cereus . يكون للازهار عدد كبير من الاوراق الكأسية والتويجية ، كما تكون الاوراق الكأسية ملونة مثل التويج . ومبيضها يكون سفليا ، أما اسديتها فعديدة (شكل 28 ـ 12) . بعض الصباريات صغيرة الحجم بينما يبلغ حجم البعض الآخر ما يشبه الشجيرة ، كما نجد صبار ساجوارو العملاق giant cactus or saguara (Carnegiea gigantea) . يصل فى نموه الى 13 مترا او يزيد .

العائلة الخيمية (او البقدونس) Parsley Family (Umbelliferae)

تضم العائلة الخيمية حوالى 3000 نوع اغلبها من النباتات العشبية . وتحوى العائلة عددا من الاعشاب

انـواع جنس الشوكـران المائى Water hemlock (Cicuta) . وموطنه امريكا الشمالية تعتبر سما فتاكا اذا ما اكلت .

لقد استنبط الاسم العلمى للعائلة الخيمية من ترتيب ازهارها التى تتجمع فى عناقيد تشبه المظلة umbrellalike (Umbels) . اما الزهرة الواحدة فتكون صغيرة فى العادة (شكل : 28 ـ 13) . واوراقها الكأسية اما ان تكون دقيقة الحجم او غير موجودة اما اوراقها التويجية وعددها (5) فتكون بيضاء اللون فى العادة . وتتصل اسديتها الخمسة بأعلى المبيض السفلى وثمارها جافة تنفلق الى نصفين عند النضج .



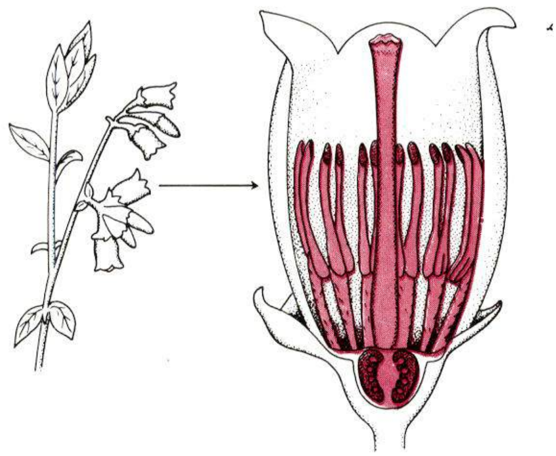
شكل (28 ـ 13) العائلة الخيمية (Umbelliferae) . ازهـار زيزيـا الـذهبيـة (Golden Alexanders (Zizea aurea لاحظ ترتيب الأزهار فيما يشبه الخيمة أو المظلة .

العائلة الخلنجية Heath Family (Ericaceae)

افراد العائلة الخلنجية (حشيشة الغبيرة) جلها من النباتات الخشبية ، وتحتوى العائلة على 2000 نوع ، غالبيتها من الشجيرات وفيها نجد عددا كبيرا من نباتات الزينة الجذابة ومثالها نباتات الخنلج heaths والخلنجى المرقط heather والغاز السام mountain laurel والغار الوردى rhododendrons والغار الشيحى azaleas .

الفواحة (العطرية) وتستخدم للتتبيل seasoning ، ومنها الينسون anise والكراويا caraway والشبت dill والشمر fennel والبقدونس parsley والكزبرة coriander تستخدم انواع اخرى من هذه العائلة كخضروات ومنها الجزر carrot والجـزر الابـيـض parsnip والكـرفس celery . والمجمـوعة الاخيرة منها من الحشائش يتميز بعضها بسميته . ومن بين هذه المجموعة الاخيرة نجد الشوكران السام poison hemlock (Conium maculatum) ، وقد استقدم من اوروبا وشاع فى مناطق كثيرة من الولايات المتحدة . لقد عرف الاقدمون خواص هذا النبات لسميته ، ويعتقد ان هذا النبات قد استخدم فى تسميم سقراط الذى دبره له سكان اثينا عام 402 قبل الميلاد . تتميز كل اجزاء النبات بسميتها ، بما فى ذلك جذوره وسيقانه واوراقه وبذوره سواء للانسان او للحيوانات الحقلية . كما ان العديد من

شكل (28 ـ 14) العائلـة الخلنجية (Ericaceae) . زهـرة التوت الأزرق الحلو (Sweet Blueberry (Vaccinium angustifolium



لكثير من الانواع المزروعة او البرية ثمار تؤكل ، ومثالها التوت الازرق blueberry والتوت البرى cramberry والتوت الامريكى huckleberry والتوت الجبلى mountain Cranberry . وتعتبر انواع اخرى برية ومن بينها زهرة مايو trailing arbutus ، وتوت الدب bearberry وعنب القطا winter-green وشاى لابرادور labrador tea والسلال salal والمدرونة madrono وانواع مختلفة من المنزنيتة manzanita ، وتعتبر كلها من الشجيرات والاشجار الصغيرة الشائعة فى غرب امريكا .. للكثير من انواع الخلنج اوراق دائمة الخضرة . توضع انواع التوت الامريكى والازرق والبرى ضمن هذه العائلة احيانا ، وتصنف احيانا اخرى ضمن عائلة شديدة الارتباط بالاولى هى العائلة الفاسينية Vacciniaceae .

يكون عدد كل من الاوراق الكأسية والتويجية هو أربع او خمس اوراق علما بان عدد الاسدية يكون ضعف عدد الاوراق التويجية . وفى العادة تلتحم الاوراق التويجية مكونة انبوبة تشبه الجرة (القارورة) ويكون المبيض علويا وقد يكون سفليا كما هى الحال فى عدة مجاميع مثل التوت الازرق والبرى .



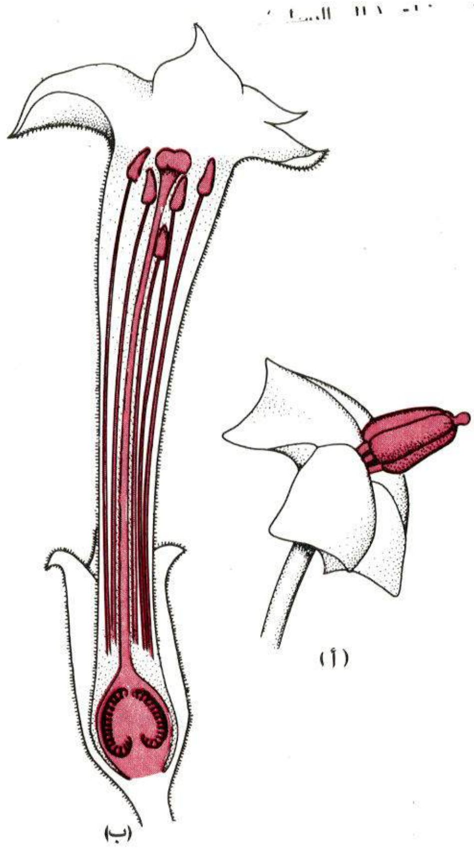
شكل (28 ـ 15) العائلة الشفوية (Labiatae) .
زهرة رأس الهر (Hemp-Nettle(Galeopsis tetrahit

العائلة الشفوية (النعناع) Mint Family (Labiatae)

تتضمن العائلة الشفوية حوالى 4000 نوع اغلبها من الحوليات العشبية او الاعشاب المعمرة وتنتشر فى بقاع العالم . وقد اشتهرت العائلة بسبب احتواء الكثير من النباتات النعناعية على الزيوت العطرة فى سيقانها واوراقها . تكتسب بعض انواعها مثل النعناع spear mint والنعناع الحريف peppermint والزعتر thyme والمريمية sage واكليل الجبل rosemary والخزامى lavender والحبق pennyroyal ، اهمية اقتصادية للسبب المذكور . ويزرع العديد من اصنافها فى الحدائق كنباتات للزينة . سيقان النعناع تكون مربعة المقطع فى العادة ، اما اوراقها فتكون متقابلة او حلقية الترتيب . تتلاحم الاوراق التويجية الخمس مكونة انبوبة ثنائية الشفاه bilabiate (شكل 28 ـ 15) ومنها اكتسبت العائلة اسمها العلمى . وتنقسم الثمرة الى اربع بندقات صغيرة nutlet تحوى كل منها بذرة واحدة .

العائلة الباذنجانية Nightshade Family (Solanaceae)

تعتبر العائلة الباذنجانية كبيرة العدد ، اذ تشمل اكثر من 2000 نوع من الاعشاب والشجيرات او الاشجار الصغيرة تستوطن المناطق الاستوائية او المعتدلة على حد سواء . ولقد صارت البطاطس وموطنها جبال انديز المعتدلة عماد الغذاء فى الكثير من مناطق العالم . ومن بين نباتات العائلة التى تؤكل اجزاؤها نجد الطماطم tomato والباذنجان eggplant والفلفل الاحمر red pepper وكرز الارض ground cherry . كما ان التبغ



شكل (28 ـ 16) العائلة الباذنجانية (Solanaceae) .
أ ـ زهرة البطاطس Potato (Solanum tuberosum)
ب ـ زهرة التبغ Tobaco (Nicotiana tabacum) .

tobacco من بين افراد هذه العائلة وموطنه امريكا الاستوائية . وتزرع بعض الانواع مثل البتونيا petunias ونباتات الزهرة المخملية (Salpiglossis) وغيرها الكثير ، تزرع من اجل ازهارها . وتحتوى بعض انواع العائلة مثل حشيشة جيمسون Jimson Weed ونبات السكران hendbane والبيلادونا (نبات ست الحسن) belladonna وغيرها على قلويات سامة . ونبات البيلادونا هو مصدر عقار الاتروبين atropine . يتكون تويج النباتات الباذنجانية نمطيا من خمس اوراق تويجية ملتحمة ، ويتخذ التويج شكل العجلة أو الانبوبة . اما الاسدية وهى فى العادة خمس واحيانا تكون اقل من ذاك فتلتحم بالتويج بينما يكون المبيض علويا (شكل 28 ـ 16) .

العائلة الهالوكية (كف الثعلب) Figwort or Foxglove Family (Scrophulariaceae)

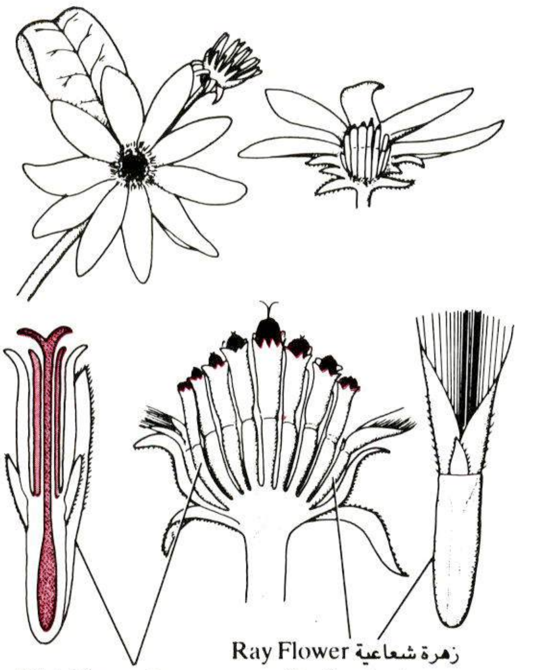
تنتشر افراد هذه العائلة الكبيرة وعددها حوالى 4000 فى بقاع الارض جميعا . واغلب انواعها من الاعشاب الا انها تشتمل ايضا على شجيرات او متسلقات . ترجع اهمية هذه العائلة فى الاساس الى ان عددا كبيرا منها يعتبر من نباتات الزينة سواء داخل المساكن او فى حدائقها . ومن بين انواع نباتات الزينة لهذه العائلة نجد جنس المرموزة Calceolaria ، ونباتات حنك السبع snapdragon ولبلاب المجوس speedwells وذيل اللسان beard tongues وعليق كينيلورث Kenilworth ivy وغيرها الكثير ، اما نبات اصبع العذراء الشائع common foxglove (Digitalis) فكثيرا ما يزرع فى حولين وتستخرج من اوراقه خلاصات هامة لاستعمالها فى معالجة امراض القلب . كما ان نبات اللبيدة common mullein (Verbascum thapsus) يعتبر من الحشائش ذات الحولين البارزة فى هذه العائلة . وقد استقدم من اوروبا فعم كل المناطق المعتدلة من امريكا الشمالية فى



شكل (28 ـ 17) العائلة الهالوكية (Scrophulariaceae) .
زهرة نبات القرود Monkey Flower (Mimulus ringens)

مراعيها ومساحاتها المهملة . اما ازهاره فصفراء باهتة ، كما تغطى ساقه واوراقه طبقة كثيفة من الشعيرات ، مما يكسب النبات مظهرا خشبيا . تكون سيقانه طويلة فى العادة وغير متفرعة وربما يصل طولها الى 260 سم .

للعائلة ازهار تامة ، اما غلافها الزهرى فيكون غير منتظم فى العادة كما تشكل اوراقه التويجية المتلاحمة انبوبة تويجية (شكل 28 ـ 17) . ومبيضه مركب ، إذ يحتوى على العديد من البويضات وهو من النوع العلوى ، بينما نجد الكربلات قد اختزلت الى اثنتين عددا . والنمط الشائع ان يكون عدد الاسدية اربعا ، بينما يكون عددها فى بعض الانواع اثنتين فقط ، ونادرا ما تكون خمسة ، اما الخامس فربما يمثل احيانا بخويطه فقط . وتوجد الاسدية فى ازواج فى العادة . يكون الزوج الاول قصير الخويط والزوج الثانى طويله . تلقح الزهرة تلقيحا خلطيا فى العادة عن طريق الحشرات ، التى تكون من النحل فى المعتاد . وتماثل هذه الازهار فى احيان كثيرة الازهار ثنائية الشفة فى النعناعيات ، غير ان مبايضها تكون كبسولات عديدة البذور عند نضوجها ، ويخالف ذلك الثمرة الشفوية رباعية الفصوص والبذور معا .



شكل (28 ـ 18) العائلة المركبة (Compositae) رأس أزهار تحمل كلا من الأزهار الشعاعية والقرصية لنبات عباد الشمس رقيق الأوراق – Thin Leaf Sunflower (Helianthus decapetalus)

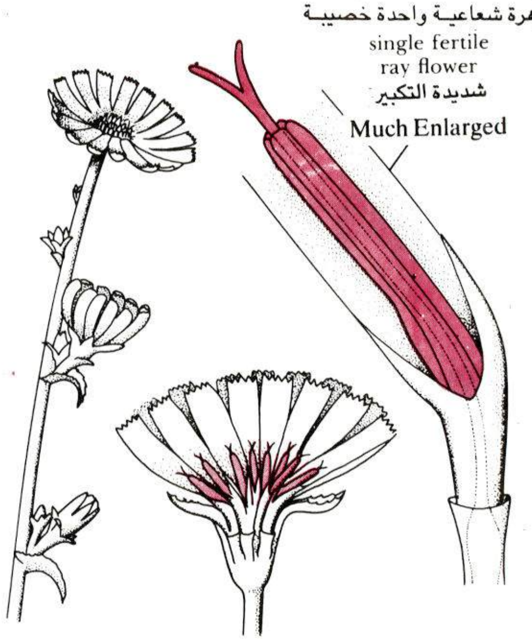
العائلة المركبة The Composites (Compositae)

تعتبر العائلة المركبة ثانية اكبر عائلات النباتات الزهرية اذ تحوى حوالى 20000 نوع اغلبها من النباتات الحولية او الاعشاب المعمرة . اما ازهارها فصغيرة للغاية تتجمع فى رؤوس مكثفة يعتبرها العامة خطأ زهرة واحدة . تكون ازهارها المنفردة على نوعين يتكون النوع الاول من ازهارها قرصية disk Flowers ، يكون تويجها انبوبيا . اما تويج النوع الثانى-الازهار الشعاعية ray flowers-فنجد شكل الشريط strap - shape ، ويشابه الاوراق التويجية على جانب واحد . يتألف رأس الزهرة المركبة فى العادة من ازهار قرصية تشكل بدورها جل جسم الرأس ، وازهار شعاعية تحف الجسم (شكل : 28ـ18) وكثيرا ما تكون الازهار الشعاعية فى مثل هذه الرؤوس عقيمة لا تنتج بذورا . هناك انواع بعينها تحوى زهورا قرصية او شعاعية ليس الا (شكل : 28ـ19).

تتلاحم الاسدية من متوكها anthers مكونة بذلك اسطوانة تحيط بالقلم style ، ومبيضها سفلى .اما الثمرة ، وهى اكينية فهى البذرة فى حد ذاتها . تكون الكأس اما غائبة اصلا او متحورة بصورة ريش كبيرة او شعيرات او اشواك spines او مخاطيف hooks مما له فائدة اثناء انتشار الثمار . ومثال هذه النباتات هو ناب الاسد downy parachute of the dandelion . يتعذر كثيرا حصر الانواع الشائعة من النباتات المركبة فى قائمة . فمن بين انواعها المستخدمة طعاما نجد الخس lettuce والخرشوف artichoke والسلسفي salsify والهندباء البرى (ناب الاسد) dandelion وخرشوف القدس Jerusalem artichoke والكاسنية (هندباء) endive ، اما اوراق نباتات الطرخون tarragon فتستخدم توابل فى الطعام . يزرع نبات عباد الشمس الشائع common sunflower فى الكثير من

وازهار الغرديب pyrethrum وهو نوع من الاقحوان ، فتعتبر مصدرا لمبيد حشرى معروف insecticide ، اما نباتات فرشاة المريمية sagebrushes وحشيشة الخرقة ragweeds واقرباؤها فتسبب مرض حمى الدريس الشهير hay fever . واخيرا هناك عدد من النباتات المركبة يعتبر من الحشائش الضارة للمزارعين واصحاب البساتين ومنها انواع الحسك thistles والهندباء البرى وحشيشة الصقور hawkweeds والشبيط cocklebur وغيرها الكثير .

والعائلة المركبة تعتبر مجموعة عالية التطور يعود اصلها الى العصر الطباشيرى الاعلى . ونجد الكثير من مجاميعها تتمتع بانتشار واسع ومنها النجميات aster والقضبان الذهبية goldenrods والمنتشرة على جوانب الطرقات فى الشرق عند حلول الخريف ، الى فرشاة المريمية التى تنتشر فى سهول الشرق وكذلك النباتات المركبة الصفراء الذهبية التى تنتشر فى ولايات المحيط الهادى .

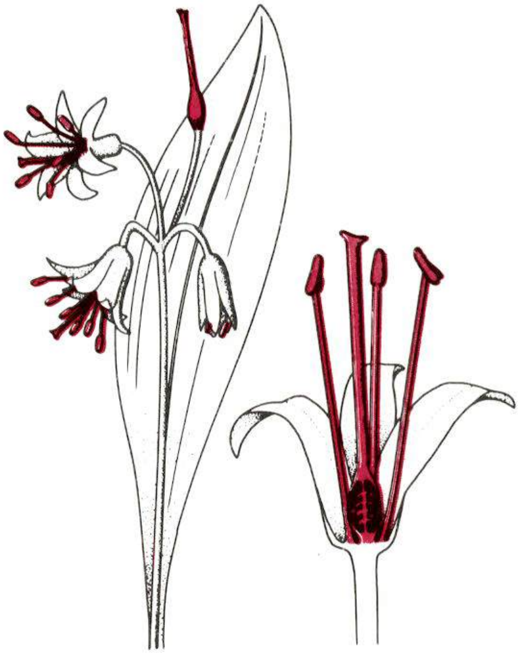


شكل (28 ـ 19) العائلة المركبة (Compositae) . نبات الشكورية (Cichorium intybus) . Chicory

بقاع العالم للحصول على «بذوره» البيضاوية المفلطحة الغنية بالمحتوى الزيتى والتى تستخدم غذاء للانسان والحيوان على حد سواء . هناك عدد كبير من النباتات المركبة مثل الكريزانثيم (الاقحوان) chrysanthemuam والكوسموس cosmos والزينيا Zinnias والداليا dahlias والاذريون calendulas والقطيفة marigold وكلها من نباتات الزينة فى الحدائق . اما رأس الحمامة burdock والبونيسيت boneset والجريندليا grindelia والبابونج camomile وخانق الفهد arnica فتستخدم كلها فى اغراض طبية . اما جذور الافعى البيغاء (Eupatorium White snakeroot rugosum) فعندما تأكلها الماشية او الخيل او الخراف تسبب اصابتها بالرعشة او ما يسمى بمرض الحليب milk sickness . ينتقل المرض الى الانسان عندما يشرب حليب البقرة المصابة به او يستخدم زبدا صنع من حليب مصاب .

بعض عائلات ذوات الفلقة الواحدة Some Families of Monocotyledons

تضم ذوات الفلقة الواحدة ما يقارب 55000 نوع رتبت فيما يزيد عن 40 عائلة . ولقد تطورت منذ بداية نشأتها مكونة العديد من التركيب التخصصية التى كثيرا ما تشابه تلك الموجودة فى ذوات الفلقتين ولكنها لا تطابقها . بعض ذوات الفلقة الواحدة تشبه الشجرة كالنخيل مثلا ، الا ان اغلبها من الاعشاب الحولية او المعمرة . تنتشر ذوات الفلقة الواحدة كثيرا فى العديد من انواع البيئات ، لذا نجدها من النباتات السائدة فى المناخات الاستوائية وشبه الاستوائية . وسيقانها الهوائية قليلة التفرع واحيانا لا تتفرع مطلقا . كثيرا ما تغلف هذه السيقان اغمدة من قواعد الاوراق . اغلب ذوات الفلقة الواحدة لها اوراقا بسيطة ، غير ان اوراق بعض الانواع مثل النخيل تكون مركبة . ازهار عدد من العائلات غير منتظمة وذلك كما فى العائلة السحلبية (الاركيدات) orchids وقد تكون شديدة الاختزال وغير بارزة كما هو فى النخيليات grasses ، نستعرض فى الفقرات التالية القليل من اهم عائلاتها العديدة بحق .



شكل (28 ـ 20) العائلة الزنبقية (Liliaceae) .
زهرة الكيلنتونيا (Clintonia borealis) Clintonia



شكل (28 ـ 21) العائلة الاغافية (Agavaceae) .
أشجار يوشع (Yucca brevifolia) Joshua Trees

العائلة الزنبقية Lily Family (Liliaceae)

بالرغم من ان اسم جنس بارز هو الزنبق (Lilium) قد اطلق على هذه العائلة ، الا ان اغلب انواعها (4000 نوع) ليست من الزنابق مطلقا . يعتبر الهليون asparagus نباتا غذائيا هاما . تصنف نباتات مثل البصل onions والكراث الرومى leeks والثوم المعمر chives والثوم garlic ضمن العائلة الزنبقية عادة ، الا ان بعض علماء النبات يضعونها ضمن العائلة النرجسية amaryllis family وهى شديدة الصلة بالعائلة الزنبقية . يستحسن كثيرون استعمال الكثير من الزنابق كنباتات زينة فى الحدائق والمساكن على السواء . وتضم هذه زنبق الشرق easter lily والزنبق الملكى rogal lily وزنبق النمر tiger lily ، وغيرها من الانواع الملونة . لا تدخل انواع زنبق النهار day lily وزنبق الوادى lily - of - the - valley وزنبق ماريبوزا maripoza lily ضمن جنس الزنابق Lilium ، الا انها من اعضاء العائلة . ونجد من بين افراد العائلة نباتات زينة اخرى مثل الخزامى tulips والياقوتية hyacinths والزعفران الخريفى (ومبشرة الشتاء) autumn crocus (Colchicum) . يستخدم الكولشيين القلوى colchicine المستخرج من هذا النبات فى انتاج متعدد الكروموسومات polyploids . تضم النباتات السامة للانسان والدواجن والمواشى نبات العنصل الاحمر redsquill (urginea) ويستخدم لتسميم الفئران والخربق الكاذب false hellebore (Veratrum) وانواعا من الكاما المهلكة death camas (Zigadenus) . ومن بين النباتات البارزة وسط النباتات البرية لهذه العائلة نجد نباتات الاطرليون trilliums وزهرة الجرس (زهرة اللهاة) bellworts ولسان الحية (ابرة الراهبة) adder's tongus والكلينتونيا (الاقلنطونية) clintonia .

معظم افراد العائلة الزنبقية من الاعشاب المعمرة ولها ريزوم او بصلة او كورمة . زهرتها منتظمة تحوى اجزاء

الغلاف الزهرى مرتبة فى حلقتين وبها ستة اقسام تشبه الاوراق التويجية . يكون المبيض علويا فى العادة وتمشيمها محورى axile placentation (شكل 20_28).

لقد اثار تصنيف الاجناس والعائلات داخل الفصيلة الزنبقية Liliales مزيدا من الجدل ، وهى الفصيلة التى ندخل بها العائلة الزنبقية . فعلى سبيل المثال كانت اشجار جنس يوشع (اليكنة) (yucca) داخلة فى العائلة الزنبقية ، كما كانت اشجار جنس الباهرة (Agave) داخلة ضمن العائلة النرجسية وقد اصبحا الآن مصنفين ضمن العائلة الاغافية (الباهرية) (Agavaceae) وهى من ضمن الفصيلة الزنبقية . وبلا شك تتألف هذه العائلة من نباتات شجيرية او شبه شجيرية تعمر اوراقها طويلا (شكل : 21_28).

العائلة النخيلية Palm Family (Palmae)

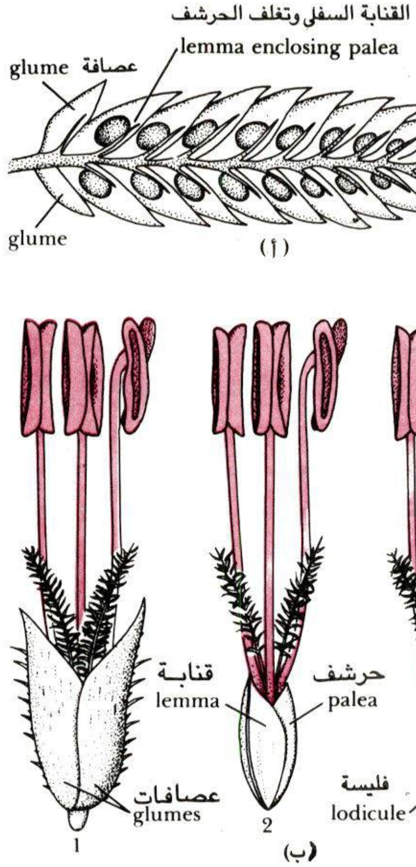
يعد النخيل متعدد الانواع احتياجات رئيسية للملايين من البشر فى المناطق الاستوائية انظر شكل (2_8). انواع النخيل المعروفة تعد بالالاف . الكثير منها صغير الحجم . الا ان بعضها ينمو بما يزيد عن 33 مترا فى الطول ، وبهذا تكون تلك الانواع بين اضخم متساقطات الاوراق . معظم النخيل استوائى ، غير ان ما يزيد عن العشرة انواع يستوطن المناطق شبه الاستوائية من الولايات المتحدة ، كما يزرع عدد آخر من انواعها . كانت اشجار النخيل فى العصور الطباشيرى الاعلى والثلاثى الادنى واسعة الانتشار فى نصف الكرة الشمالى . ممتدة الى ان تصل الى كندا . اما اشجار النخيل المعاصرة فتعتبر مصدرا للغذاء (جوز الهند coconuts والتمر (البلح) dates ، والخشب lumber والالياف لصناعة الملبوسات ، والقش المستخدم فى بناء المساكن البسيطة والزيوت والشموع waxes ونشاء الساغو sago starch ، وغيرها الكثير من المنتجات .

العائلة النجيلية Grass Family (Gramineae)

تتضمن النجيليات وهى من اهم النباتات والعائلات النباتية للانسان ، حوالى 7000 نوع ، والكثير منها ينتشر فى العالم كله . وتنمو النجيليات فى ظل تباين واسع من الظروف المناخية ، تشمل من المناطق الاستوائية الدافئة ، الى مناطق تدخل فى الدائرة القطبية . الكثير من انواع الخيزران bamboos وهى من النجيليات ، تعتبر نباتات خشبية وقد يصل ارتفاعها الى 40 مترا ، ومع ذلك فاغلب انواع النجيليات تكون اعشابا حولية او معمرة . اما الاوراق فتكون فى العادة طويلة نحيفة ، كما ان قواعد الاوراق تكون على شكل غمد يحيط بالساق . وعادة ماتكون الساق جوفاء فى المسافات بين العقد . تنتشر النجيليات المعمرة بواسطة الريزومات او السيقان الممتدة ، وبذا تنمو على شكل خصل او حزم وربما يكون نموها بصورة كتل كثيفة مما يشكل فى مجموعه غطاء اخضر . ولقد استعمرت النجيليات المروجية والحزمية على حد سواء مساحات شاسعة من سطح الارض .

تعتبر النجيليات مصدرا اساسيا ، مباشرا او غير مباشر ، لغذاء الانسان والعديد من انواع الحيوانات . فمثلا تستخدم البادرات الخضراء للخيزران غذاء للانسان . ولسيقان الخيزران فوائد واستخدامات لاحصر لها ، منها بناء المساكن وصناعة الاثاث والورق والسلال وغيرها من الاوعية كما لها الكثير من المنافع لسكان المناطق الاستوائية . غير ان منافع الحبوبيات (الغلال) لاتضاهى. زرع الانسان القمح منذ اكثر من 7000 عام . ويشكل الرز العمود الفقرى لاغلب سكان المعمورة ، ويتفوق فى ذلك على اى نبات آخر . تستغل ساق قصب السكر انظر شكل (5_1)، منذ القدم لاستخلاص السكر .

يكتسب اهمية من بين نجيليات الاعلاف فى المراعى والسهول نجيل البروم brome grasses ونجيل الجاموس buffalo grass ونجيل الشليم ، وعكرش المروج meadow fescue وذيل القط timothy ونجيل كينتكى الازرق kentucky ونجيل برمودا Bermuda grass وغيرها الكثير . بعض النجيليات تدخل ضمن الحشائش الضارة ، والبعض الآخر يستخدم فى زراعة المروج وساحات الرياضة مثل الغولف golf كما ان منها مايعتبر من نباتات الزينة . للنجيليات قيمتها كغذاء للحيوانات البرية ، فالكثير من الطيور والحيوانات الثديية الصغيرة يعتمد كثيرا فى غذائه على حبوب النجيليات المزروعة والبرية على السواء .



شكل (28 ـ 22) العائلة النخيلية (Gramineac) .
أ ـ سنيبلة عديدة الأزهار لنبات التف (نجيل الحب) love Grass (Eragrostis) وتكون البذور ، دائما ماتكون القنبتان القاعديتان (العصافات Glumes) فارغتين .
ب ـ سنيبلة وحيدة الزهرة لنبات ذيل القطر Timothy (Phleum Pratense)
1 ـ سنيبلة كاملة .
2 ـ نزعت العصافات كاشفة عن القنابة السفلى Lemma والحرشف Palea المصاحبين لكل زهرة .
3 ـ الزهرة العارية التى تتكون من ثلاث اسدية ومبيض يحمل ميسمين ريشيين وقليستين عند قاعدة المبيض وهما تكونان الغلاف الزهرى المختزل .

ازهار النجيليات صغيرة ومختزلة تولد فى سنابل spikes كثيفة او فى عناقيد مفتوحة التشعب (تسمى العناقيد الزهرية panicles) تتكون مثل هذه النسابل او تلك العناقيد من وحدات تسمى السنيلات spikelets . وتتكون كل سنيبلة بدورها من محور يحيل فى العادة عددا من الازهار (شكل 28ـ22 أ) جنبا الى جنب مع عدد من القنابات التخصصية . فى بعض النباتات ومنها ذيل القط (شكل 28ـ22 ب)، لايولد فى السنيبلة الواحدة الا زهرة واحدة . عند قاعدة السنيبلة توجد قنابتان فارغتان (عصافتان glumes)، وتغلف كل زهرة باحكام بين قنابتين اخريين (القنابة السفلى lemma ، والحرشف palea). تتألف الزهرة الواحدة من مدقة واسدية (تكون ثلاثة نمطيا) وحرشفين فى العادة (فليستين lodicules) تحت المبيض . تمثل هذه الفليسات الغلاف الزهرى شديد الاختزال . بعض النجيليات ذاتى التلقيح غير ان الاشهر فيها هو التلقيح بالرياح . تبزغ الاسدية من القنابات عند التزهير ، ومن ثم تنشر لقاحها ، يبرز الميسمان الريشيان ويقبضان على اللقاح المحمول بالرياح .

العائلة السحلبية (الاركيدية) Orchid Family (Orchidaceae)

تشكل العائلة السحلبية اكبر عائلة فى النباتات الزهرية ، اذ يدخل فيها مايقارب من 25000 نوع . كما ان السحلبيات تشابه العائلة المركبة من حيث التباين الشديد بين افرادها.كل السحلبيات عشبية معمرة ، وعلى العكس من الرأى السائد بين العامة فليست كل السحلبيات من النباتات الاستوائية وليست كلها غير نامية الا على نباتات اخرى . فالكثير منها نباتات تنمو فى المناطق شبه الاستوائية ، كما تترعرع انواع كثيرة منها فى المناطق المعتدلة . يستوطن امريكا الشمالية مايقارب من 40 نوعاً من العائلة السحلبية ، تنمو نباتات سحلبية كثيرة معايشة لنباتات اخرى ، غير ان انواعا كثيرة اخرى تضم اغلب انواع المناطق المعتدلة تعتبر من النباتات الارضية التى تنمو فى التربة . بعض السحلبيات عديم اللون (فصل ـ5).

ليس للسحلبيات فوائد كثيرةعدا كونها من نباتات الزينة . تستخرج الفانيليا من قرنات سحلب استوائى . الا ان الفانيليا المخلقة صناعيا قد شاع انتشارها . هناك عدد كبير من الانواع الاستوائية ومن جنس الكاتيليا (Cattleya) على

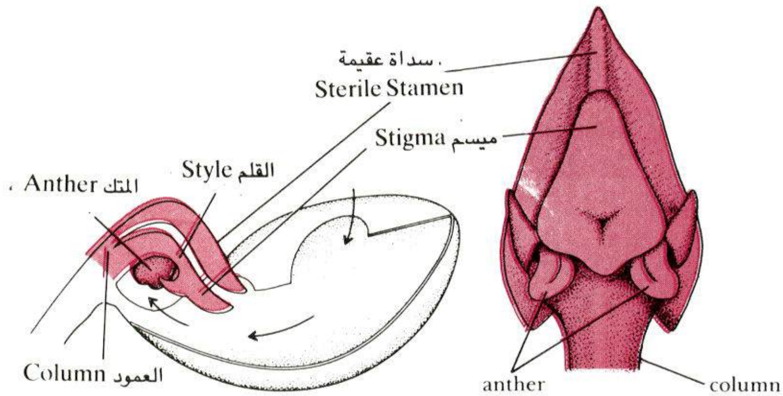


شكل (28 ـ 23) العائلة السحلبية (Orchidaceae) .
نبات الكاتيليا (Cattleya gigas) .
تعتبر «الشفة» على الجانب الاسفل من الزهرة بمثابة ورقة تويجية متحورة واحدة .

وجه الخصوص يزرع للحصول على ازهاره الغريبة الشكل . كما ان مئات عديدة من نباتات البستنة قد انتجت اصنافها بطرق التهجين . من بين السحلبيات التى استوطنت امريكا ، وبعضها يزرع فى البساتين والحدائق ، نجد سحلب نعل السيدة (Cypripedium) lady's – slippers orchid ومنه انواع واصناف بهية ، والبوجونيا pogonia ، والكاليبسو calypso وضفائر الحسناء lady's tresses . تحظر قوانين حماية الطبيعة فى بعض الولايات الامريكية قطف ازهار السحلبيات البرية .

تعتبر الزهرة السحلبية شديدة التحور والتكيف للتلقيح الخلطى بالحشرات . وتركيب الزهرة يقع ضمن المخطط الاعتيادى لازهار نباتات الفلقة الواحدة ، ولا يعوق هذا الا تلاحم العديد من اجزاء الزهرة . مبيض الزهرة السحلبية من النوع السفلى . الاوراق الكأسية الثلاث مميزة فى العادة وهناك انواع تلتحم فيها ورقتان كأسيتان فى تركيب واحد . لقد تحورت الاوراق التويجية الثلاث ، بحيث تكون اثنتان منها جناحين بينما تشكل الثالثة الوسطية شفاة بارزة بما تشبه الكأس على احد جوانب الزهرة (شكل 28ـ23) . تعتبر احدى الاسدية فقط وظيفية فى العادة ، غير ان سداتين تقومان بوظيفتهما فى بعض الانواع .

هناك سمة مميزة هامة فى الزهرة السحلبية تكمن فى وجود العمود column الناتج عن تلاحم الاسدية مع القلم. فى زهرة سحلب نعل السيدة تتضخم الشفاة الوسطى بما يشكل هيئة النعل ، كما تحوى هذه الشفاة حيزا كبيرا يكون مفتوح القمة



شكل (28 ـ 24) تلقيح زهرة نبات نعل السيدة Lady's – Slipper (Cypripedium) .
(الى اليسار) الزهرة من جانبها وتظهر جزءا من النعل بعد انتزاعه ، توضح الأسهم مسار النحلة عندما تدخل الزهرة وتخرج منها .
(اليمين) العمود الذى ينتهى فى الميسم حاملا الأسدية .

(لوحة 16) يوجد العمود فى خلفية الزهرة . وتكون احدى اسديته الثلاث عقيمة . وتنحنى فوق الميسم . اما السداتان الخصيبتان فتقعان على جانبى الميسم (شكل 28ـ24). عندما تدخل صغار النحل عبر الفتحة البيضاوية التى تعلو زهرة نعل السيدة . تتغذى على رحيقها فوق الشعر الموجود عند قاعها . وحيث يستحيل على النحلة الهروب بنفس المسار الذى دخلت منها ، بسبب الجدار المقوس فى النعل تتمكن النحلة من الهروب فقط عبر فتحتين صغيرتين فى خلفية الزهرة . تقعان على جانبى العمود . تزحف النحلة تحت الميسم وتعتصر من خلال احدى الفتحتين . وفى هذه الاثناء تحتك النحلة بأحد المتوك ملتقطة بذلك بعضا من لقاحه اللزج . عندما تزور هذه النحلة زهرة اخرى ، ومن ثم تهرب عبر نفس الطريق ، تترك هذه المرة ما حملته من لقاح على ميسم الزهرة اثناء زحفها من تحته . ومن هنا نرى ان عدم وقوع زيارة الحشرات يسبب اخفاق التلقيح وعدم تكون البذور . ترسم النباتات السحلبية والنجيلية والمركبة كل بطريقته الخاصة ، خطوط تويجات مختلفة فى ارتقاء الزهرة المعاصرة .

الخلاصة : Summary

1 ـ مغطاة البذور تعتبر من النباتات السائدة فى عالمنا المعاصر . ولقد تكيفت مع التباينات الكبيرة فى البيئات المحيطة ، لذا تحوى عددا من الأنواع يفوق ماتحويه أية مجموعة نباتية أخرى .
2 ـ مرجع أهمية النباتات الزهرية للانسان الى أنسجتها الثانوية والى سهولة تكاثرها بالطرق الخضرية ، وأخيرا الى طبيعتها فى تخزين الغذاء فى بذورها وثمارها ، وبدرجة أضعف فى جذورها ودرناتها وغير ذلك من أجزائها الأرضية .
3 ـ على الرغم من أن جذور مغطاة البذور وسيقانها وأوراقها لها مدى واسع من التخصص ، إلا أن الزهرة والثمرة والبذرة يحتمل أن تكون فى الغالب هى المسئولة عن نجاح مغطاة البذور وازدهارها .
4 ـ لم يكن للانسان البدائى أن يعبر مرحلة صيد الحيوانات والأسماك من مراحل حضارته بدون وجود النباتات

الزهرية خصوصا الحولية منها ، تلك التى تعتبر بمثابة الأساس الذى تقوم عليه الزراعة الحديثة . كما أن تطور وارتقاء الطيور والثدييات والحشرات قد اعتمدا على ارتقاء مغطاة البذور بنوع خاص .

5 ـ تنقسم مغطاة البذور الى فرعين هما : ذوات الفلقة الواحدة وذوات الفلقتين . يحتمل أن تكون المجموعة الأخيرة هى اقدمهما . جرى تقسيم هاتين المجموعتين بناء على عدد فلقاتها ، وعلى تعرق أوراقها وعلى ترتيب النسيج الوعائى فى سيقانها وعلى وجود الكمبيوم أو عدمه وأخيرا على عدد أجزاء الحلقة الواحدة فى زهرتها . تكون الأزهار فى ذوات الفلقتين والفلقة الواحدة مختزلة بعدم انتظام أو بالتماثل .

6 ـ من بين كل العائلات النباتية ترسم النباتات السحلبية والنجيلية والمركبة أفضل صورة لتتويج التطور الارتقائى عبر خطوط متفارقة .

بعض المقارنات بين المخروطيات وبين مغطاة البذور :

Some Comparisons Between Conifers and Angiosperms.

7 ـ كل المخروطيات من الأشجار أو الشجيرات الخشبية وتضم مغطاة البذور أشجارا وشجيرات وعددا كبيرا من الأعشاب ـ الحولية وذات الحولين والمعمرة على حد سواء .

8 ـ على الرغم من سعة انتشار المخروطيات إلا أنها لم تتكيف مع تباين واسع من الأحوال البيئية ، مثلما حدث لمغطاة البذور .

9 ـ يعتبر العنصر الوعائى Vessel Element هو النمط الأساسى لخلية التوصيل فى خشب مغطاة البذور. كما تعتبر القصبة Tracheid هى النوع الأهم لخلية التوصيل فى خشب المخروطيات .

10 ـ تنشأ التراكيب المتعلقة بالتكاثر فى المخروطيات ضمن اجسام شبه مخروطية Strobili ، مع وجود البويضات واللقاح فى مخاريط مختلفة . وتتميز مغطاة البذور بامتلاكها الأزهار ؛ تنشأ البويضات واللقاح فى العادة فى نفس الزهرة .

11 ـ تتكون البذور فى المخروطيات على سطح الحرشف . أما مغطاة البذور فتكون بذورها مغلفة فى مبيض وهو الجزء السفلى من المدقة التى تتألف من كربلة واحدة أو أكثر . تنتج الثمرة ـ وهى عضو يوجد فى مغطاة البذور وحدها ـ من المبيض أو من هذا التركيب والأجزاء الملاصقة له فى بعض الحالات .

12 ـ تنبت حبوب اللقاح فى المخروطيات على سطح البيضة أو قربها بينما تنبت حبوب اللقاح فى مغطاة البذور على الميسم .

13 ـ تسمى المخروطيات ومغطاة البذور على السواء بمتباينة السبورات ويحتفظ كل منهما بالسبور الكبير داخل حافظته على النبات الأم . يعتبر الطور المشيجى الأنثوى للمخروطيات نسيجا متعدد الخلايا وكبيرا نسبيا ، ينشأ قبل الاخصاب ، وتكون انويته حاوية لعدد (n) من الكروموسومات . ونجد الطور المشيجى الانثوى لمغطاة البذور شديد الاختزال ، إذ لايحتوى إلا على عدد ضئيل من الخلايا . ينشأ الاندوسبرم فى مغطاة البذور بعد الاخصاب ، وتحوى أنويته عددا كروموسوميا (3n) . يتكون الاندوسبرم (السويداء) بعد الاخصاب المزدوج Double Fertilization وهو عملية لاتتم الا فى مغطاة البذور .

14 ـ فقدت مغطاة البذور والمخروطيات على السواء السبرمات السابحة التى كانت لاسلافها المائية ، وينتقل السبرم الى البيضة عبر أنبوبة لقاحية . ومع ذلك لاتزال المخروطيات تنشىء ارشيجونات وهى تراكيب قد ميزت فى الغالب بواكير نباتات الارض وتوجد فى الحزازيات Bryophytes وكل باقى النباتات الوعائية باستثناء مغطاة البذور .

15 ـ مازال بعض المخروطيات محتفظ بآثار الخلايا الخضرية لجيل الطور المشيجى الذكرى ففى الصنوبر تتمثل هذه الانسجة فى خلايا الثالوس الأولى المضمحلة داخل حبة اللقاح ، لم يحتفظ بمثل هذه الخلايا الخضرية فى جيل الطور المشيجى الذكرى لمغطاة البذور .

الشركة العامة للورق والطباعة